

Gesetz von Malus

BESTÄTIGUNG DES GESETZES VON MALUS FÜR LINEAR POLARISIERTES LICHT.

- Messung der durch die Polarisationsfilter transmittierten Lichtintensität I in Abhängigkeit vom Drehwinkel der Filter.
- Bestätigung des Gesetzes von Malus.

UE4040100

11/23 UD



Fig. 1: Messanordnung

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Licht ist als transversale Welle polarisierbar, indem man es z.B. ein Polarisationsfilter passieren lässt. In einer linear polarisierten Lichtwelle schwingen das elektrische Feld E und das Magnetfeld B jeweils in einer festen Ebene (Fig. 2). Die Schwingungsrichtung des elektrischen Feldes wird als Polarisationsrichtung bezeichnet.

Im Experiment trifft Licht nacheinander auf einen Polarisator und einen Analysator, die um den Winkel φ zueinander verdreht sind. Den Polarisator durchdringt nur ein linear polarisierter Anteil des Lichtes. Dessen elektrische Feldstärke möge die Amplitude E_0 haben (Fig. 3).

In der Polarisationsrichtung des Analysators schwingt die Komponente mit der Amplitude

$$(1) \quad E = E_0 \cdot \cos \varphi .$$

Nur diese kann den Analysator passieren (Fig. 3).

Die Intensität des Lichtes entspricht dem Quadrat der elektrischen Feldstärke. Daher beträgt die Intensität hinter dem Analysator

$$(2) \quad I = I_0 \cdot \cos^2 \varphi ,$$

wenn I_0 die Intensität hinter dem Polarisator ist.

Gleichung (2) ist als Gesetz von Malus bekannt. Sie wird im Experiment durch Intensitätsmessung mit einem Lichtsensor bestätigt. In dieser Messung entspricht der bei $\varphi = 90^\circ$ gemessene Intensitätswert dem Umgebungslicht. Er wird von der gemessenen Intensität subtrahiert.

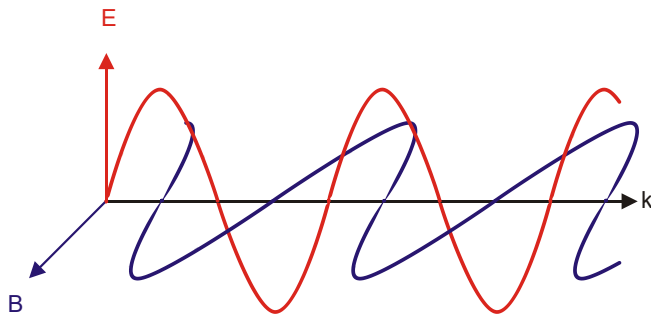


Fig. 2: Darstellung zur Definition der Polarisationsrichtung

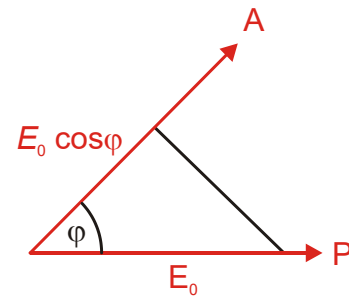


Fig. 3: Darstellung zur Berechnung der elektrischen Feldstärke hinter dem Analysator

GERÄTELISTE

1	Optische Bank D, 50 cm	U10302	1002630
4	Optikreiter D, 90/50	U103111	1002635
1	Optikleuchte mit LED	U21882	1020630
2	Polarisationsfilter auf Stiel	U22017	1008668
1	Halterung auf Stiel für Lichtsensor		1022269
1	Lichtsensor, drei Bereiche	UCMA-BT50i	1021502
1	Sensorkabel	UCMA-BTsc1	1021514
1	Datenlogger		
1	Software		

Weitere Informationen zum digitalen Messen sind auf der Webseite des Experiments im 3B Webshop zu finden.

AUFBAU UND DURCHFÜHRUNG

- Die Messanordnung gemäß Fig. 1 realisieren.

Hinweis:

Die genaue Position der beiden Polarisationsfilter auf der optischen Bank ist im Hinblick auf das Messergebnis unkritisch.

- Lichtsensor mit Hilfe des Sensorkabels an den Datenlogger anschließen und Software starten.
- Beide Polarisationsfilter mit Hilfe der Markierung auf der Drehfassung und der Winkelskala in 0°-Stellung bringen.

Hinweis:

Der Polarisationsfilter näher zur Optikleuchte dient als Polarisator, der Polarisationsfilter näher zum Lichtsensor als Analysator.

- Die Einstellung des Polarisators nicht mehr verändern.
- Den Analysator in 10°-Schritten auf Winkel bis einschließlich 360° einstellen und bei jedem eingestellten Winkel die Lichtintensität punktweise aufnehmen (Tab. 1).

MESSBEISPIEL

Tab. 1: Gemessene Lichtintensität I_m und auf die Intensität des Umgebungslichts korrigierte Lichtintensität I für verschiedene Winkel φ zwischen Polarisator und Analysator

φ	I_m / lux	$I = I_m - I_m(90^\circ)$ / lux
0°	4,0440	3,6705
10°	3,9050	3,5315
20°	3,5500	3,1765
30°	3,1210	2,7475
40°	2,4720	2,0985
50°	1,7910	1,4175
60°	1,2080	0,8345
70°	0,7581	0,3846
80°	0,4502	0,0767
90°	0,3735	0,0000
100°	0,4906	0,1171
110°	0,8805	0,5070
120°	1,3440	0,9705
130°	1,9340	1,5605
140°	2,7330	2,3595
150°	3,3640	2,9905
160°	3,7710	3,3975
170°	4,0140	3,6405
180°	4,0320	3,6585
190°	3,8410	3,4675
200°	3,3710	2,9975
210°	2,7950	2,4215
220°	2,1880	1,8145
230°	1,5000	1,1265
240°	0,9986	0,6251
250°	0,5849	0,2114
260°	0,3802	0,0067
270°	0,3653	-0,0082
280°	0,5882	0,2147
290°	0,9939	0,6204
300°	1,5770	1,2035
310°	2,2280	1,8545
320°	2,8030	2,4295
330°	3,3850	3,0115
340°	3,7280	3,3545
350°	3,9810	3,6075
360°	4,0360	3,6625

AUSWERTUNG

Die Auslöschung der Polarisationsfilter ist mit > 99,9% bei $\lambda = 450 - 750$ nm spezifiziert. Deshalb entspricht der bei $\varphi = 90^\circ$ gemessene Intensitätswert in sehr guter Näherung dem Umgebungslicht.

- Von den gemessenen Lichtintensitäten I_m in Tab. 1 für jeden Winkel φ die Lichtintensität $I_m(\varphi = 90^\circ)$ subtrahieren (Tab. 1).
- Die auf die Intensität des Umgebungslichts korrigierte Lichtintensität I in Abhängigkeit des Winkels φ in einem Diagramm graphisch darstellen (Fig. 4).

Der Verlauf der Kurve entspricht Gleichung (2).

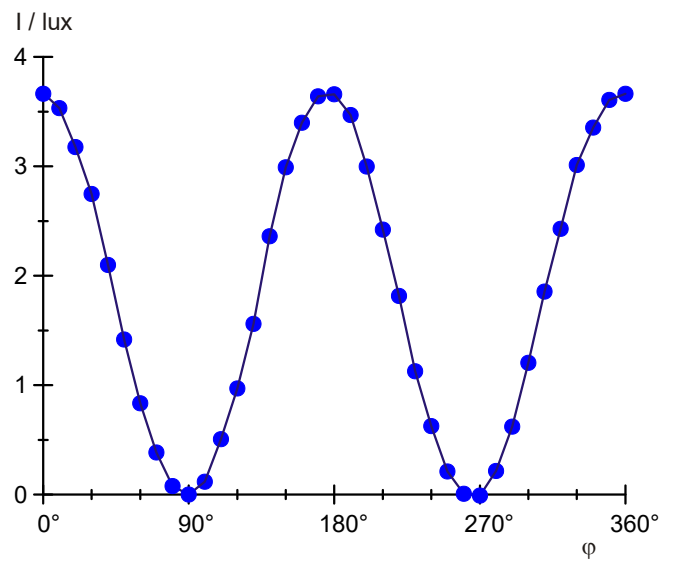


Fig. 4: Lichtintensität I in Abhängigkeit vom Winkel φ zwischen Polarisator und Analysator.

- Aus den Winkeln φ für $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$ die Werte $\cos^2(\varphi)$ berechnen (Tab. 2) und die entsprechenden Werte für die Lichtintensität I aus Tab. 1 in Tab. 2 übernehmen.

Tab. 2: Auf die Intensität des Umgebungslichts korrigierte Lichtintensität I für verschiedene Werte von $\cos^2(\varphi)$ für $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$.

φ	$\cos^2(\varphi)$	I / lux
0°	1,00	3,6705
10°	0,97	3,5315
20°	0,88	3,1765
30°	0,75	2,7475
40°	0,59	2,0985
50°	0,41	1,4175
60°	0,25	0,8345
70°	0,12	0,3846
80°	0,03	0,0767
90°	0,00	0,0000

- Die Lichtintensität I in Abhängigkeit von $\cos^2\varphi$ in einem Diagramm graphisch darstellen (Fig. 5).

Die Messwerte liegen, wie gemäß Gleichung (2) erwartet, auf einer Ursprungsgeraden mit der Steigung I_0 .

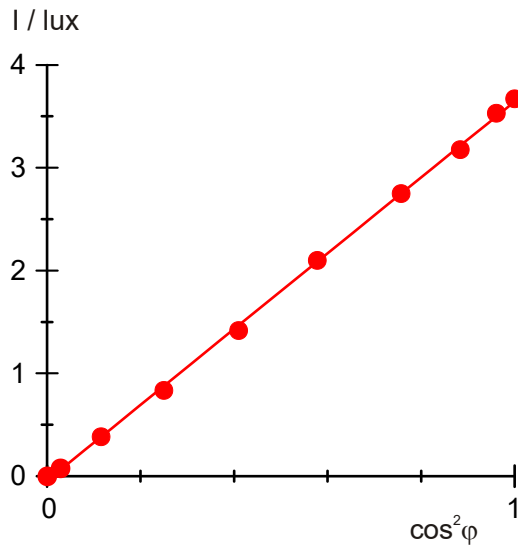


Fig. 5: Lichtintensität I in Abhängigkeit von $\cos^2\varphi$

Malus' Law

VERIFY MALUS' LAW FOR LINEARLY POLARISED LIGHT.

- Measure the intensity of light I transmitted through a polarising filter as a function of the angle of rotation of the filter.
- Verify Malus' law.

UE4040100

11/23 UD



Fig. 1: Measurement set-up

GENERAL PRINCIPLES

Light, being a transverse wave, can be polarised, for example by allowing it to pass through a polarising filter. In a linearly polarised light wave, both the electric field E and magnetic field B oscillate in distinct planes. The orientation direction of the electric field oscillation is called the polarisation direction.

In this experiment light passes through two filters termed the polariser and the analyser, which are aligned at an angle of φ to one another. The polariser only allows one linearly polarised component of the light to pass through it. The electric field of this component may be deemed to have an amplitude E_0 .

The amplitude of the component after passing through the analyser filter is given by

$$(1) \quad E = E_0 \cdot \cos \varphi .$$

This is a measure of the amount of light which can pass through the analyser (Fig. 3).

The intensity of the light corresponds to the square of the electric field strength. The intensity of light beyond the analyser is therefore as follows:

$$(2) \quad I = I_0 \cdot \cos^2 \varphi ,$$

where I_0 is the intensity of light after passing through the polariser.

Equation (2) is a statement of Malus' law. This will be verified in the experiment by measuring the light intensity using a light sensor. In this experiment, the intensity of light measured for an angle $\varphi = 90^\circ$ should be equal to that of the ambient light. This value should be subtracted from all the other intensity measurements.

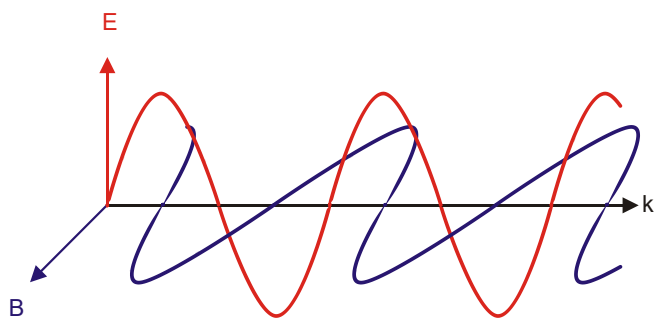


Fig. 2: Illustration showing the definition for direction of polarisation

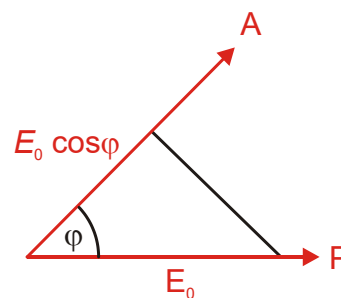


Fig. 3: Illustration of how the electric field beyond the analyser is calculated

LIST OF EQUIPMENT

1	Optical Precision Bench D, 50 cm	U10302	1002630
4	Optical Rider D, 90/50	U103111	1002635
1	Optical LED Lamp	U21882	1020630
2	Polarisation Filter on Stem	U22017	1008668
1	Holder for Light Sensor		1022269
1	Light Sensor, ThreeRanges	UCMA-BT50i	1021502
1	Sensor Cable	UCMA-BTsc1	1021514
1	Data Logger		
1	Software		

More information about digital measurement can be found on the experiment's webpage in the 3B Webshop.

SET-UP AND PROCEDURE

- Set up the apparatus for the measurement as shown in Fig. 1.

Note:

Precise positioning of the two polarisation filters along the optical bench is not critical to the results of this measurement.

- Connect the light sensor to the data logger using the sensor cable and start the software.
- Set both polarisation filters to 0° with the help of the angle scale and markings on the rotating base.

Note:

The polarisation filter nearest the optical lamp acts as the polariser and the one nearer the light sensor is used as the analyser.

- Do not change the set-up of the polariser anymore.
- Adjust the analyser in 10° steps up to and including 360° and, for each of these angle settings, record the light intensity point by point (Table 1).

SAMPLE MEASUREMENT

Tab. 1: Measured light intensity I_m and light intensity corrected for ambient light I at various angles φ between polariser and analyser

φ	I_m / lux	$I = I_m - I_m(90^\circ) / \text{lux}$
0°	4.0440	3.6705
10°	3.9050	3.5315
20°	3.5500	3.1765
30°	3.1210	2.7475
40°	2.4720	2.0985
50°	1.7910	1.4175
60°	1.2080	0.8345
70°	0.7581	0.3846
80°	0.4502	0.0767
90°	0.3735	0.0000
100°	0.4906	0.1171
110°	0.8805	0.5070
120°	1.3440	0.9705
130°	1.9340	1.5605
140°	2.7330	2.3595
150°	3.3640	2.9905
160°	3.7710	3.3975
170°	4.0140	3.6405
180°	4.0320	3.6585
190°	3.8410	3.4675
200°	3.3710	2.9975
210°	2.7950	2.4215
220°	2.1880	1.8145
230°	1.5000	1.1265
240°	0.9986	0.6251
250°	0.5849	0.2114
260°	0.3802	0.0067
270°	0.3653	-0.0082
280°	0.5882	0.2147
290°	0.9939	0.6204
300°	1.5770	1.2035
310°	2.2280	1.8545
320°	2.8030	2.4295
330°	3.3850	3.0115
340°	3.7280	3.3545
350°	3.9810	3.6075
360°	4.0360	3.6625

EVALUATION

The specifications of the polarisation filters state that they will block out > 99.9% of light at wavelengths $\lambda = 450 - 750 \text{ nm}$. This means that, to a good approximation, the light intensity measured at $\varphi = 90^\circ$ is equivalent to the ambient light.

- Subtract the light intensity $I_m(\varphi = 90^\circ)$ from each of the light intensity measurements I_m in Table 1, i.e. for all angles φ (Table 1).
- Plot the light intensity I after correction for ambient light as a function of the angle φ on a graph (Fig. 4).

The shape of the curve matches what would be expected from equation (2).

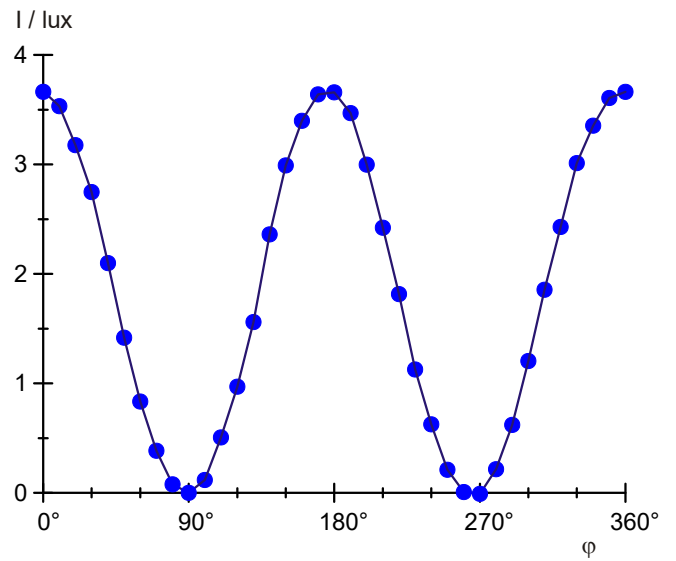


Fig. 4: Light intensity I as a function of the angle φ between the polariser and the analyser

- Work out the value of $\cos^2(\varphi)$ for all angles φ where $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$ (Table 2) and copy the corresponding values of light intensity I from Table 1 into Table 2.

Tab. 2: Light intensity I corrected for light intensity and values of $\cos^2(\varphi)$ where $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$

φ	$\cos^2(\varphi)$	I / lux
0°	1.00	3.6705
10°	0.97	3.5315
20°	0.88	3.1765
30°	0.75	2.7475
40°	0.59	2.0985
50°	0.41	1.4175
60°	0.25	0.8345
70°	0.12	0.3846
80°	0.03	0.0767
90°	0.00	0.0000

- Plot the corrected light intensity I against $\cos^2\varphi$ on a graph (Fig. 5).

The measurement values lie along a straight line of gradient I_0 through the origin, as expected from equation (2).

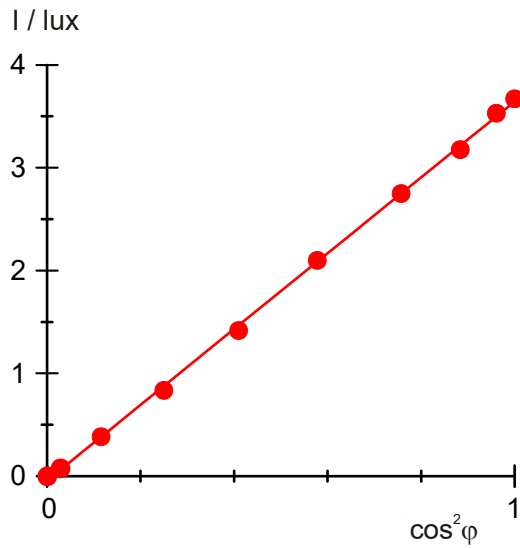


Fig. 5: Light intensity I as a function of $\cos^2\varphi$

Ley de Malus

COMPROBACIÓN DE LA LEY DE MALUS PARA LUZ POLARIZADA LINEALMENTE.

- Medición de la intensidad de la luz I transmitida por un filtro de polarización, en dependencia con el ángulo de giro del filtro.
- Comprobación de la ley de Malus.

UE4040100

11/23 UD



Fig. 1: Disposición de medición

FUNDAMENTOS GENERALES

La luz, como onda transversal se puede polarizar, por ejemplo, dejándola pasar a través de un filtro de polarización. En una onda de luz polarizada el campo eléctrico E y el campo magnético B oscilan, cada uno de ellos, en un plano. La dirección de oscilación del campo eléctrico se denomina "dirección de polarización".

En el experimento, incide luz en un polarizador y secuencialmente en un analizador, que se encuentran rotados un ángulo φ entre sí. A través del polarizador sólo pasa la parte de la luz polarizada linealmente, a cuya intensidad de campo eléctrico se le puede asignar la amplitud E_0 .

En la dirección de polarización del analizador la componente oscila con la amplitud

$$(1) \quad E = E_0 \cdot \cos \varphi .$$

Solamente ésta puede pasar a través del analizador (Fig. 3).

La intensidad de la luz corresponde al cuadrado de la intensidad del campo eléctrico. Por lo tanto, la intensidad después del analizador se expresa como

$$(2) \quad I = I_0 \cdot \cos^2 \varphi ,$$

cuando la intensidad después del polarizador es I_0 .

La ecuación (2) es conocida como la ley de Malus. Esta se comprueba en el experimento realizando mediciones de intensidad con un sensor de luz. En esta medición el valor de intensidad medido con $\varphi = 90^\circ$ corresponde a la luz del medio. Este valor se debe restar de la intensidad medida.

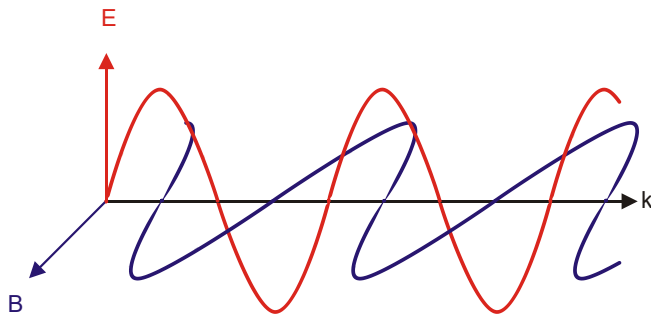


Fig. 2: Representación para la definición de la dirección de polarización

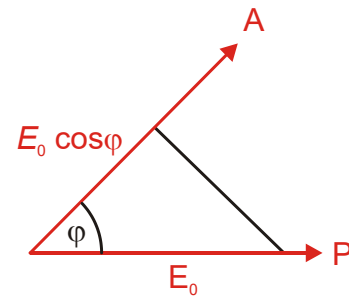


Fig. 3: Representación para el cálculo de la intensidad del campo eléctrico después del analizador

LISTA DE APARATOS

1	Banco óptico D, 50 cm	U10302	1002630
4	Jinetillo óptico D, 90/50	U103111	1002635
1	Lámpara óptica con lámpara LED	U21882	1020630
2	Filtros de polarización sobre mango	U22017	1008668
1	Soporte para sensor de luz		1022269
1	Sensor de luz de tres rangos	UCMA BT50i	1021502
2	Cables de sensor	UCMA-BTsc1	1021514
1	Data logger		
1	Software		

Encontrará más información sobre la medición digital en el sitio web del experimento, en la tienda virtual de 3B.

MONTAJE Y REALIZACION

- Se realiza la disposición de medición según la Fig. 1.

Observación:

La posición exacta de los filtros de polarización en el banco óptico no es crítica de cara al resultado de la medición.

- Se conecta el sensor de luz al data logger por medio del cable de sensor y se pone en marcha el software.
- Guiándose por la marca en la montura giratoria, se llevan ambos filtros de polarización a la posición 0° .

Observación:

El filtro de polarización más cercano a la lámpara óptica funciona como polarizador, el más cercano al sensor óptico funciona como analizador.

- El ajuste del polarizador no se vuelve a cambiar.
- La posición angular del analizador se ajusta en pasos de 10° hasta inclusive 360° y para cada ángulo ajustado se registra la intensidad de la luz punto por punto (Tab. 1).

EJEMPLO DE MEDICIÓN

Tab. 1: Intensidad de luz medida I_m y la intensidad de luz corregida I respecto a la luz del medio para diferentes ángulos φ entre el polarizador y el analizador

φ	I_m / lux	$I = I_m - I_m(90^\circ)$ / lux
0°	4,0440	3,6705
10°	3,9050	3,5315
20°	3,5500	3,1765
30°	3,1210	2,7475
40°	2,4720	2,0985
50°	1,7910	1,4175
60°	1,2080	0,8345
70°	0,7581	0,3846
80°	0,4502	0,0767
90°	0,3735	0,0000
100°	0,4906	0,1171
110°	0,8805	0,5070
120°	1,3440	0,9705
130°	1,9340	1,5605
140°	2,7330	2,3595
150°	3,3640	2,9905
160°	3,7710	3,3975
170°	4,0140	3,6405
180°	4,0320	3,6585
190°	3,8410	3,4675
200°	3,3710	2,9975
210°	2,7950	2,4215
220°	2,1880	1,8145
230°	1,5000	1,1265
240°	0,9986	0,6251
250°	0,5849	0,2114
260°	0,3802	0,0067
270°	0,3653	-0,0082
280°	0,5882	0,2147
290°	0,9939	0,6204
300°	1,5770	1,2035
310°	2,2280	1,8545
320°	2,8030	2,4295
330°	3,3850	3,0115
340°	3,7280	3,3545
350°	3,9810	3,6075
360°	4,0360	3,6625

EVALUACIÓN

La extinción del filtro de polarización está especificada con > 99,9% en la gama de longitudes de onda de $\lambda = 450 - 750$ nm. Por lo tanto el valor de la intensidad de la luz medida para $\varphi = 90^\circ$ se corresponde muy bien con la intensidad de la luz del medio.

- Para cada ángulo φ la intensidad de la luz $I_m(\varphi = 90^\circ)$ (Tab. 1) se sustrae de las intensidades de luz I_m medidas en la Tab. 1.
- La intensidad de la luz I corregida en la intensidad de la luz del medio en dependencia con el ángulo φ se representa gráficamente en un diagrama (Fig. 4).

El curso de la curva corresponde a la ecuación (2).

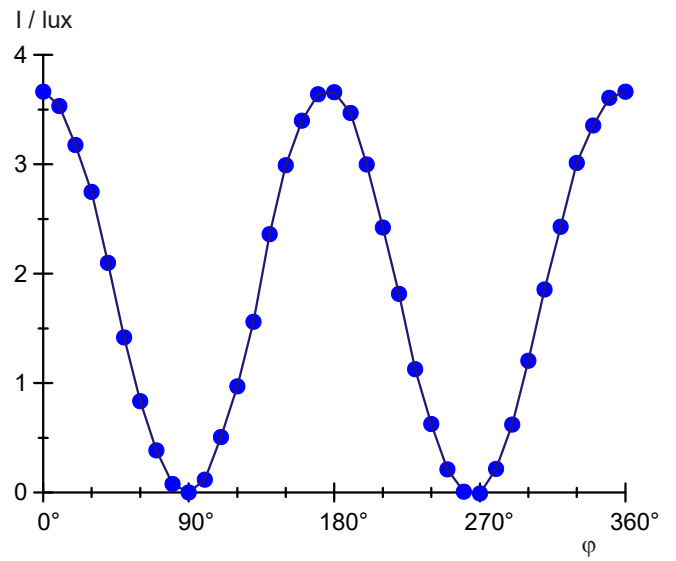


Fig. 4: Intensidad I de la luz en dependencia con el ángulo φ entre el polarizador y el analizador

- De los ángulos φ para $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$ se calculan los valores de $\cos^2(\varphi)$ (Tab. 2) y los correspondiente valores para la intensidad de la luz I se toman de las Tab. 1 y Tab. 2.

Tab. 2: La intensidad de la luz I corregida en la intensidad de la luz del medio para diferente valores de $\cos^2(\varphi)$ para $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$

φ	$\cos^2(\varphi)$	I / lux
0°	1,00	3,6705
10°	0,97	3,5315
20°	0,88	3,1765
30°	0,75	2,7475
40°	0,59	2,0985
50°	0,41	1,4175
60°	0,25	0,8345
70°	0,12	0,3846
80°	0,03	0,0767
90°	0,00	0,0000

- La intensidad de la luz I en dependencia con $\cos^2\varphi$ se representa gráficamente en un diagrama (Fig. 5).

Los valores de medida se encuentran, de acuerdo con la ecuación (2), como era de esperar en una recta que pasa por el origen, con la pendiente I_0 .

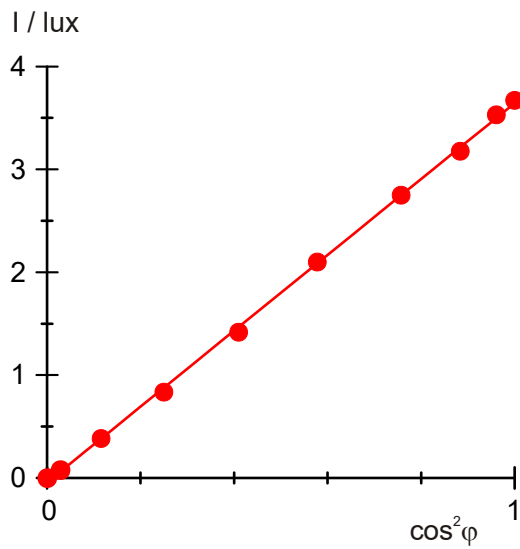


Fig. 5: Intensidad I de la luz en dependencia con $\cos^2\varphi$

Loi de Malus

CONFIRMER LA LOI DE MALUS POUR LA LUMIÈRE À POLARISATION LINÉAIRE.

- Mesure de l'intensité lumineuse I transmise par les filtres de polarisation en fonction de l'angle de rotation des filtres.
- Confirmation de la loi de Malus.

UE4040100

11/23 UD



Fig. 1: Disposition pour mesure

NOTIONS DE BASE GÉNÉRALES

On peut polariser la lumière comme une onde transversale, par exemple en la faisant traverser un filtre de polarisation. Dans une onde lumineuse à polarisation linéaire, le champ électrique E et le champ magnétique B oscillent chacun sur un plan fixe. Le sens de l'oscillation du champ électrique est appelé le sens de polarisation.

Dans l'expérience, la lumière rencontre successivement un polariseur et un analyseur, qui sont tournés l'un vers l'autre dans un angle φ . Seule une part de lumière à polarisation linéaire traverse le polariseur. Soit son intensité de champ électrique d'amplitude E_0 .

Dans le sens de la polarisation de l'analyseur, la composante oscille avec l'amplitude

$$(1) \quad E = E_0 \cdot \cos \varphi .$$

Elle seule peut traverser l'analyseur (Fig. 3).

L'intensité de la lumière correspond au carré de l'intensité de champ électrique. Aussi, l'intensité en amont de l'analyseur s'élève à

$$(2) \quad I = I_0 \cdot \cos^2 \varphi ,$$

si I_0 est l'intensité en amont du polariseur.

L'équation (2) est connue comme loi de Malus. Elle est confirmée dans l'expérience par la mesure de l'intensité avec un capteur photomètre. Dans cette mesure, l'intensité mesurée à $\varphi = 90^\circ$ correspond à la lumière ambiante. Elle est soustraite de l'intensité mesurée.

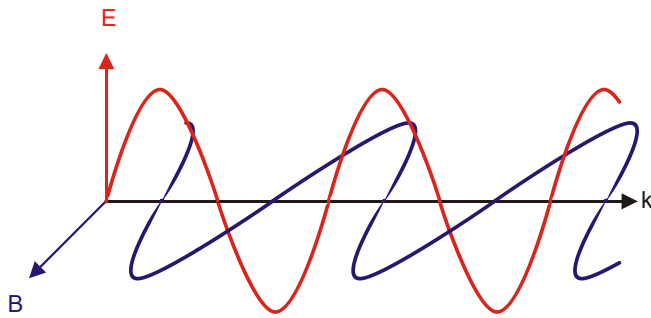


Fig. 2: Représentation pour définir le sens de polarisation

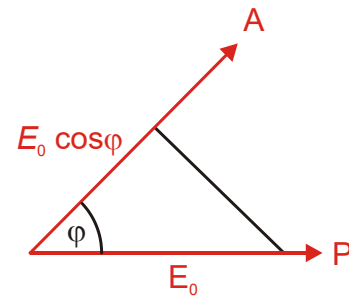


Fig. 3: Représentation pour calculer l'intensité de champ électrique en aval de l'analyseur

LISTE DES APPAREILS

1	Banc d'optique D, 50 cm	U10302	1002630
4	Cavalier optique D, 90/50	U103111	1002635
1	Source lumineuse DEL	U21882	1020630
2	Filtre de polarisation sur tige	U22017	1008668
1	Support pour capteur de lumière		1022269
1	Capteur photomètre, 3 gammes de mesure	UCMA-BT50i	1021502
1	Câble spécial capteur	UCMA-BTsc1	1021514
1	Enregistreur de données		
1	Logiciel		

De plus amples informations sur la mesure numérique sont disponibles sur le site web de l'expérience dans la boutique en ligne 3B.

MONTAGE ET REALISATION

- Réalisez le montage en vous référant à la Fig. 1.

Note :

La position exacte des deux filtres de polarisation sur le banc optique n'a pas d'incidence sur le résultat des mesures.

- Avec le câble spécial capteur, branchez le capteur photomètre à l'enregistreur de données et allumez le logiciel.
- En vous servant du repère sur le support rotatif et de la graduation angulaire, réglez les deux filtres de polarisation sur 0° .

Note :

Le filtre de polarisation se trouvant proche de la lampe optique sert de polariseur, l'autre, proche du capteur lumineux, faisant office d'analyseur.

- Ne modifiez plus le réglage du polariseur.
- Réglez l'analyseur en pas de 10° jusqu'à un angle de 360° compris, et à chaque angle réglé, enregistrez l'intensité lumineuse point par point (Tab. 1).

EXEMPLE DE MESURE

Tab. 1: Intensité lumineuse mesurée I_m et intensité lumineuse corrigée à celle de la lumière ambiante I pour différents angles φ entre le polariseur et l'analyseur

φ	I_m / lux	$I = I_m - I_m(90^\circ)$ / lux
0°	4,0440	3,6705
10°	3,9050	3,5315
20°	3,5500	3,1765
30°	3,1210	2,7475
40°	2,4720	2,0985
50°	1,7910	1,4175
60°	1,2080	0,8345
70°	0,7581	0,3846
80°	0,4502	0,0767
90°	0,3735	0,0000
100°	0,4906	0,1171
110°	0,8805	0,5070
120°	1,3440	0,9705
130°	1,9340	1,5605
140°	2,7330	2,3595
150°	3,3640	2,9905
160°	3,7710	3,3975
170°	4,0140	3,6405
180°	4,0320	3,6585
190°	3,8410	3,4675
200°	3,3710	2,9975
210°	2,7950	2,4215
220°	2,1880	1,8145
230°	1,5000	1,1265
240°	0,9986	0,6251
250°	0,5849	0,2114
260°	0,3802	0,0067
270°	0,3653	-0,0082
280°	0,5882	0,2147
290°	0,9939	0,6204
300°	1,5770	1,2035
310°	2,2280	1,8545
320°	2,8030	2,4295
330°	3,3850	3,0115
340°	3,7280	3,3545
350°	3,9810	3,6075
360°	4,0360	3,6625

ÉVALUATION

La suppression des filtres de polarisation est spécifiée par $> 99,9\%$ à $\lambda = 450 - 750$ nm. Aussi, la valeur d'intensité mesurée à $\varphi = 90^\circ$ correspond en très bonne approximation à la lumière ambiante.

- Pour chaque angle φ , soustrayez l'intensité lumineuse $I_m(\varphi = 90^\circ)$ des intensités lumineuses mesurées I_m du Tab. 1 (Tab. 1).
- Représentez dans un diagramme l'intensité lumineuse I corrigée à celle de la lumière ambiante, en fonction de l'angle φ (Fig. 4).

La courbe correspond à l'équation (2).

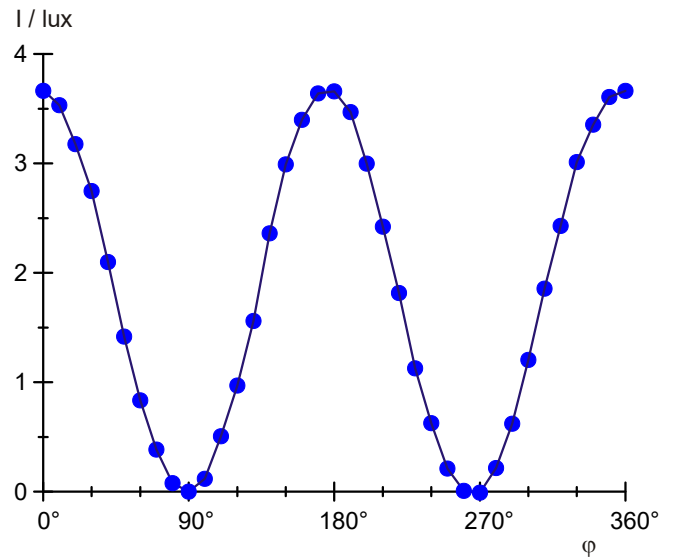


Fig. 4: Intensité lumineuse I en fonction de l'angle φ entre le polariseur et l'analyseur.

- À partir des angles φ pour $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$, calculez les valeurs $\cos^2(\varphi)$ (Tab. 2) et reprenez dans le Tab. 2 les valeurs correspondant à l'intensité lumineuse I du Tab. 1.

Tab. 2 : Intensité lumineuse I corrigée à celle de la lumière ambiante pour différentes valeurs de $\cos^2(\varphi)$ pour $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$

φ	$\cos^2(\varphi)$	I / lux
0°	1,00	3,6705
10°	0,97	3,5315
20°	0,88	3,1765
30°	0,75	2,7475
40°	0,59	2,0985
50°	0,41	1,4175
60°	0,25	0,8345
70°	0,12	0,3846
80°	0,03	0,0767
90°	0,00	0,0000

- Représentez dans un diagramme l'intensité lumineuse I en fonction de $\cos^2\varphi$ (Fig. 5)

Comme le montre l'équation (2), les valeurs de mesure se situent sur une droite passant par l'origine de pente I_0 .

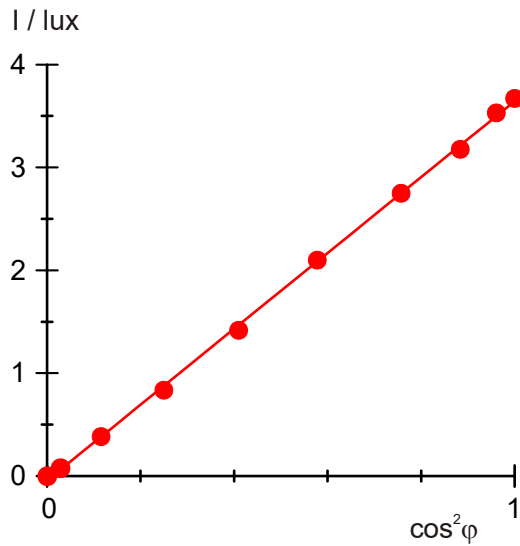


Fig. 5: Intensité lumineuse I en fonction de $\cos^2\varphi$

Legge di Malus

CONFERMA DELLA LEGGE DI MALUS PER LUCE DI POLARIZZATA LINEARMENTE.

- Misurazione dell'intensità I della luce trasmessa attraverso il filtro di polarizzazione in funzione dell'angolo di rotazione dei filtri.
- Conferma della legge di Malus.

UE4040100

11/23 UD



Fig. 1: Disposizione per la misurazione

BASI GENERALI

La luce è trasversalmente polarizzabile ~~come onda trasversale~~, facendola passare ad esempio attraverso un filtro di polarizzazione. In un'onda luminosa polarizzata linearmente, il campo elettrico E e il campo magnetico B oscillano ciascuno su un piano fisso. La direzione di oscillazione del campo elettrico viene definita come direzione di polarizzazione.

Nell'esperimento la luce colpisce in modo consecutivo un polarizzatore e un analizzatore, ruotati l'uno rispetto all'altro dell'angolo φ . Il polarizzatore si lascia attraversare solo da una porzione linearmente polarizzata della luce. L'ampiezza del campo elettrico dell'onda trasmessa dal polarizzatore sia E_0 .

Nella direzione di polarizzazione dell'analizzatore tale componente oscilla con l'ampiezza

$$(1) \quad E = E_0 \cdot \cos \varphi .$$

Solo questa frazione può attraversare l'analizzatore (Fig. 3).

L'intensità della luce corrisponde al quadrato dell'intensità del campo elettrico. Pertanto l'intensità dietro l'analizzatore è pari a

$$(2) \quad I = I_0 \cdot \cos^2 \varphi ,$$

se I_0 è l'intensità dietro il polarizzatore.

L'equazione (2) è conosciuta come Legge di Malus, e viene confermata nell'esperimento misurando l'intensità con un sensore di luce. In questa misurazione il valore di intensità misurato con $\varphi = 90^\circ$ corrisponde alla luce ambientale. Viene quindi sottratto dall'intensità misurata.

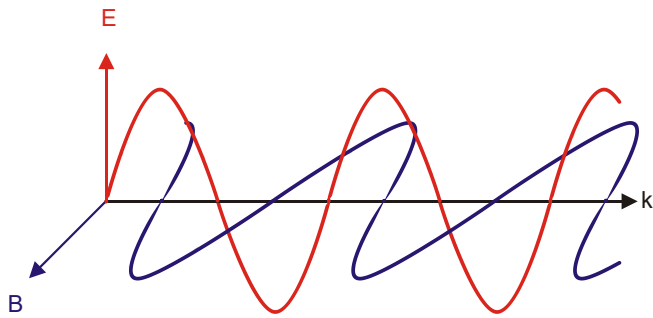


Fig. 2: Rappresentazione per la definizione della direzione di polarizzazione

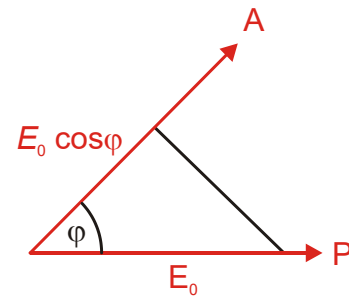


Fig. 3: Rappresentazione per il calcolo dell'intensità del campo magnetico dietro l'analizzatore

ELENCO DEGLI STRUMENTI

1	Banco ottico D, 50 cm	U10302	1002630
4	Cavaliere ottico D, 90/50	U103111	1002635
1	Lampada ottica con lampadina LED	U21882	1020630
2	Filtro di polarizzazione su asta	U22017	1008668
1	Supporto per sensore di luce		1022269
1	Sensore di luce, tre range	UCMA-BT50i	1021502
1	Cavo del sensore	UCMA-BTsc1	1021514
1	Data logger		
1	Software		

Ulteriori informazioni sulla misurazione digitale sono disponibili sul sito web dell'esperimento, nel webshop 3B.

MONTAGGIO E ESECUZIONE

- Realizzare la disposizione per la misurazione secondo Fig. 1.

Nota:

La posizione esatta dei due filtri di polarizzazione sul banco ottico è irrilevante ai fini del risultato delle misurazioni.

- Con l'ausilio del cavo del sensore, collegare il sensore di luce al data logger e avviare il software.
- Servendosi del contrassegno sul supporto girevole e sulla scala angolare, portare i due filtri di polarizzazione in posizione 0° .

Nota:

Il filtro di polarizzazione più vicino alla lampada ottica funge da polarizzatore, il filtro di polarizzazione più vicino al sensore di luce da analizzatore.

- Non modificare più l'impostazione del polarizzatore.
- Impostare l'analizzatore a passi da 10° ad angoli fino a 360° compreso e, per ogni angolo impostato, registrare l'intensità della luce punto per punto (Tab. 1).

ESEMPIO DI MISURAZIONE

Tab. 1: Intensità luminosa misurata I_m e intensità luminosa corretta sull'intensità della luce ambientale I per diversi angoli φ fra polarizzatore e analizzatore

φ	I_m / lux	$I = I_m - I_m(90^\circ)$ / lux
0°	4,0440	3,6705
10°	3,9050	3,5315
20°	3,5500	3,1765
30°	3,1210	2,7475
40°	2,4720	2,0985
50°	1,7910	1,4175
60°	1,2080	0,8345
70°	0,7581	0,3846
80°	0,4502	0,0767
90°	0,3735	0,0000
100°	0,4906	0,1171
110°	0,8805	0,5070
120°	1,3440	0,9705
130°	1,9340	1,5605
140°	2,7330	2,3595
150°	3,3640	2,9905
160°	3,7710	3,3975
170°	4,0140	3,6405
180°	4,0320	3,6585
190°	3,8410	3,4675
200°	3,3710	2,9975
210°	2,7950	2,4215
220°	2,1880	1,8145
230°	1,5000	1,1265
240°	0,9986	0,6251
250°	0,5849	0,2114
260°	0,3802	0,0067
270°	0,3653	-0,0082
280°	0,5882	0,2147
290°	0,9939	0,6204
300°	1,5770	1,2035
310°	2,2280	1,8545
320°	2,8030	2,4295
330°	3,3850	3,0115
340°	3,7280	3,3545
350°	3,9810	3,6075
360°	4,0360	3,6625

ANALISI

L'estinzione dei filtri di polarizzazione è specificata con > 99,9% a $\lambda = 450 - 750$ nm. Il valore di intensità misurato con $\varphi = 90^\circ$ corrisponde con buona approssimazione alla luce ambientale.

- Sottrarre dalle intensità misurate I_m nella Tab. 1 per ogni angolo φ l'intensità di luce $I_m(\varphi = 90^\circ)$ (Tab. 1).
- Rappresentare graficamente in un diagramma l'intensità luminosa corretta sull'intensità della luce ambientale I in funzione dell'angolo φ (Fig. 4).

L'andamento della curva coincide con l'equazione (2).

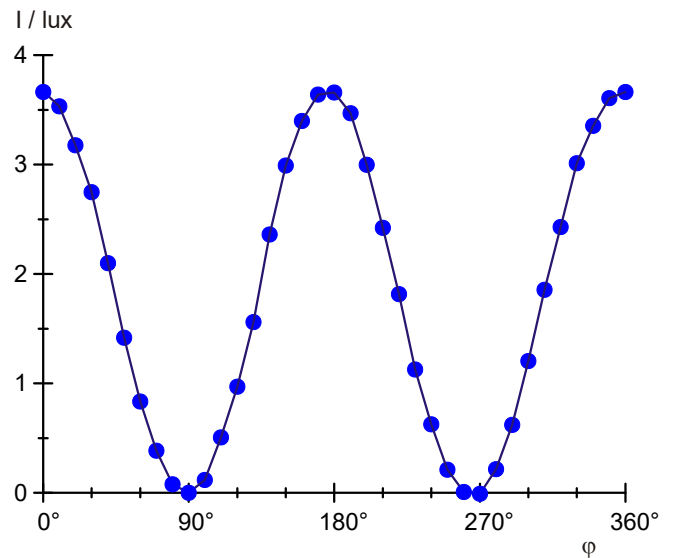


Fig. 4: Intensità di luce I in funzione dell'angolo φ tra polarizzatore e analizzatore

- Dagli angoli φ con $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$, calcolare i valori $\cos^2(\varphi)$ (Tab. 2) e riportare i valori corrispondenti dell'intensità di luce I dalla Tab. 1 alla Tab. 2.

Tab. 2: Intensità luminosa corretta sull'intensità della luce ambientale I per diversi valori di $\cos^2(\varphi)$ con $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$

φ	$\cos^2(\varphi)$	I / lux
0°	1,00	3,6705
10°	0,97	3,5315
20°	0,88	3,1765
30°	0,75	2,7475
40°	0,59	2,0985
50°	0,41	1,4175
60°	0,25	0,8345
70°	0,12	0,3846
80°	0,03	0,0767
90°	0,00	0,0000

- Rappresentare graficamente in un diagramma l'intensità della luce I in funzione di $\cos^2\varphi$ (Fig. 5).

I valori di misurazione si trovano, come previsto dall'equazione (2), su una retta di origine con incremento I_0 .

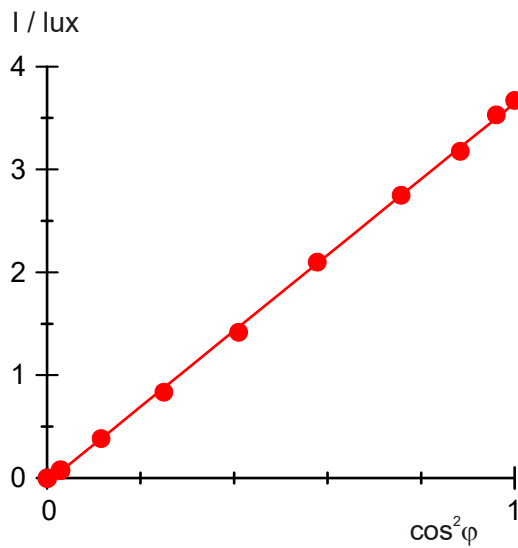


Fig. 5: Intensità di luce I in funzione di $\cos^2\varphi$

Lei de Malus

CONFIRMAÇÃO DA LEI DE MALUS PARA LUZ POLARIZADA LINEARMENTE.

- Medição da intensidade da luz I transmitida pelos filtros de polarização em dependência do ângulo de rotação dos filtros.
- Confirmação da lei de Malus.

UE4040100

11/23 UD



Fig. 1: Disposição de medição

FUNDAMENTOS GERAIS

A luz pode ser polarizada como onda transversal, por exemplo, fazendo-a passar por um filtro de polarização. Em uma onda de luz polarizada linearmente, o campo elétrico E e o campo magnético B oscilam respectivamente em um plano fixo. A direção da oscilação do campo elétrico é denominada a direção de polarização.

Na experiência, a luz atinge sucessivamente um polarizador e um analisador, que estão deslocados um em relação ao outro pelo ângulo φ . O polarizador é somente transpassado por uma parte polarizada linearmente da luz. Sua intensidade de campo tem, digamos, a amplitude E_0 .

Na direção da polarização do analisador, o componente oscila com a amplitude

$$(1) \quad E = E_0 \cdot \cos \varphi .$$

Somente esta consegue passar pelo analisador (Fig. 3).

A intensidade da luz corresponde ao quadrado da intensidade do campo elétrico. Por isto, a intensidade após o analisador é de

$$(2) \quad I = I_0 \cdot \cos^2 \varphi ,$$

se I_0 for a intensidade atrás do polarizador.

A equação (2) é conhecida como a lei de Malus. Ela é confirmada na experiência pela medição da intensidade com um sensor de luz. Nesta medição, o valor de intensidade medido com $\varphi = 90^\circ$ corresponde à luz ambiente. Este valor é subtraído da intensidade medida.

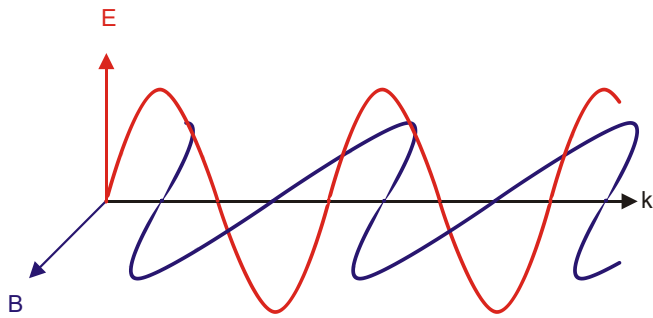


Fig. 2: Representação da definição da direção de polarização

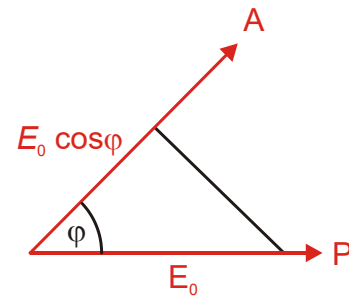


Fig. 3: Representação para o cálculo da intensidade de campo elétrico atrás do analisador

LISTA DE APARELHOS

1	Banco óptico D, 50 cm	U10302	1002630
4	Cavalete óptico D, 90/50	U103111	1002635
1	Luminária óptica com lâmpada LED	U21882	1020630
2	Filtro de polarização sobre haste	U22017	1008668
1	Suporte para sensor de luz		1022269
1	Sensor de luz, três faixas	UCMA-BT50i	1021502
1	Cabo de sensor	UCMA-BTsc1	1021514
1	Data logger		
1	Software		

Mais informações sobre a medição digital podem ser encontradas no site do experimento na loja virtual da 3B.

MONTAGEM E EXECUÇÃO

- Realizar a disposição de medição conforme Fig. 1.

Orientação:

A posição exata dos dois filtros de polarização no banco óptico não é crítica em relação ao resultado da medição.

- Conectar o sensor de luz com auxílio do cabo de sensor ao data logger e ligar o software.
- Trazer ambos os filtros de polarização, com auxílio da marcação do suporte giratório para a posição 0 da escala angular.

Orientação:

O filtro de polarização mais próximo da luminária óptica serve como polarizador, o filtro de polarização mais próximo do sensor de luz, como analisador.

- Não alterar mais o ajuste do polarizador.
- Ajustar o analisador em intervalos de 10° para ângulos de até 360° , inclusive, e, a cada ângulo ajustado, registrar a intensidade da luz ponto a ponto (Tab. 1).

EXEMPLO DE MEDIÇÃO

Tab. 1: Intensidade medida da luz I_m e intensidade da luz I corrigida pela intensidade da luz ambiente para diferentes ângulos φ entre polarizador e analisador

φ	I_m / lux	$I = I_m - I_m(90^\circ)$ / lux
0°	4,0440	3,6705
10°	3,9050	3,5315
20°	3,5500	3,1765
30°	3,1210	2,7475
40°	2,4720	2,0985
50°	1,7910	1,4175
60°	1,2080	0,8345
70°	0,7581	0,3846
80°	0,4502	0,0767
90°	0,3735	0,0000
100°	0,4906	0,1171
110°	0,8805	0,5070
120°	1,3440	0,9705
130°	1,9340	1,5605
140°	2,7330	2,3595
150°	3,3640	2,9905
160°	3,7710	3,3975
170°	4,0140	3,6405
180°	4,0320	3,6585
190°	3,8410	3,4675
200°	3,3710	2,9975
210°	2,7950	2,4215
220°	2,1880	1,8145
230°	1,5000	1,1265
240°	0,9986	0,6251
250°	0,5849	0,2114
260°	0,3802	0,0067
270°	0,3653	-0,0082
280°	0,5882	0,2147
290°	0,9939	0,6204
300°	1,5770	1,2035
310°	2,2280	1,8545
320°	2,8030	2,4295
330°	3,3850	3,0115
340°	3,7280	3,3545
350°	3,9810	3,6075
360°	4,0360	3,6625

AVALIAÇÃO

A anulação dos filtros de polarização é especificada em > 99,9% com $\lambda = 450 - 750$ nm. Portanto, o valor de intensidade medido com $\varphi = 90^\circ$ corresponde, em aproximação muito boa, à luz ambiente.

- Das intensidades de luz I_m medidas na Tab. 1, para cada ângulo φ , subtrair a intensidade da luz $I_m(\varphi = 90^\circ)$ (Tab. 1).
- Representar graficamente a intensidade da luz corrigida pela luz ambiente I em dependência do ângulo φ em um diagrama (Fig. 4).

O decurso da curva corresponde à equação (2).

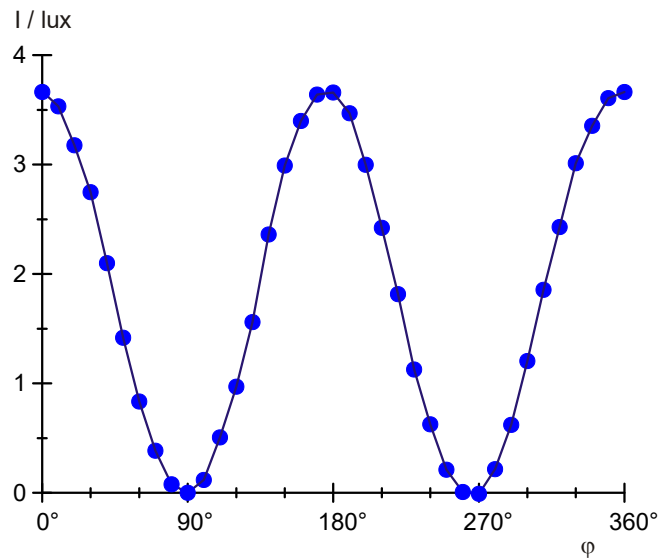


Fig. 4: Intensidade da luz I em dependência do ângulo φ entre polarizador e analisador.

- A partir dos ângulos φ para $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$, calcular os valores $\cos^2(\varphi)$ (Tab. 2) e transferir os valores correspondentes para a intensidade da luz I da Tab. 1 para a Tab. 2.

Tab. 2: Intensidade da luz corrigida pela intensidade da luz ambiente I para diferentes valores de $\cos^2(\varphi)$ para $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$

φ	$\cos^2(\varphi)$	I / lux
0°	1,00	3,6705
10°	0,97	3,5315
20°	0,88	3,1765
30°	0,75	2,7475
40°	0,59	2,0985
50°	0,41	1,4175
60°	0,25	0,8345
70°	0,12	0,3846
80°	0,03	0,0767
90°	0,00	0,0000

- Representar graficamente a intensidade da luz I em dependência de $\cos^2\varphi$ em um diagrama (Fig. 5)

Os valores de medição estão, conforme aguardado por conta da equação (2), em uma reta de origem com a inclinação I_0 .

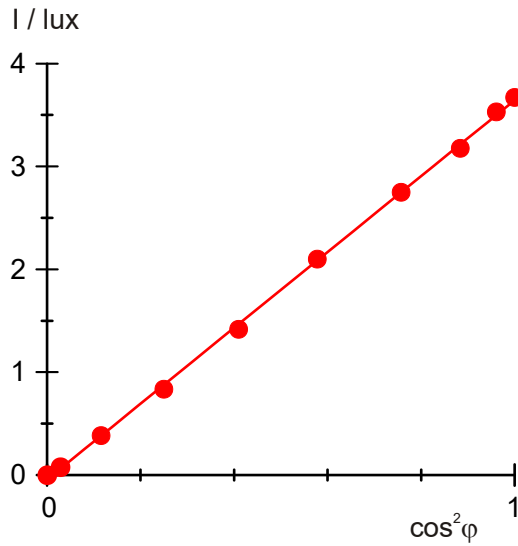


Fig. 5: Intensidade da luz I em dependência de $\cos^2\varphi$