

L'ÉTUDE DE LA LUMIÈRE RECTILIGNEMENT POLARISÉE. LA VÉRIFICATION DE LA LOI DE MALUS

1. Le but du travail

L'étude de la lumière rectilignement polarisée et la vérification de la loi de Malus.

2. Considérations théoriques

Conformément à la théorie classique de l'électromagnétisme, la lumière est une onde transversale et les directions d'oscillation des vecteurs intensité du champ électrique \vec{E} et induction magnétique \vec{B} sont réciproquement perpendiculaires entre eux et sur la direction de propagation. Les ondes lumineuses sont polarisées rectilignement lorsque les champs \vec{E} et \vec{B} gardent une direction déterminée au cours de la propagation; le plan défini par \vec{E} et le vecteur d'onde \vec{K} est alors appelé le **plan de polarisation**.

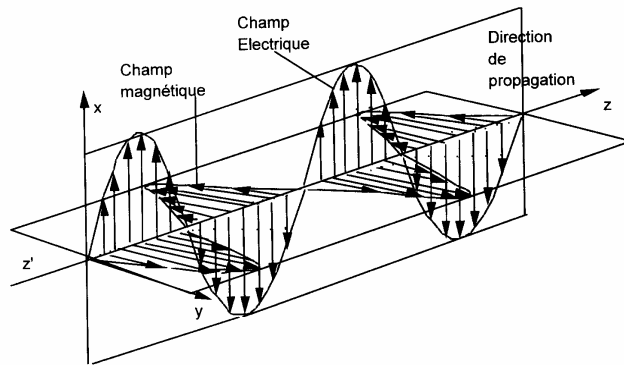


Figure 1

La polarisation de la lumière, c'est à dire la sélection des directions préférentielles, d'oscillation du vecteur intensité du champ électrique se fait par: réflexion, double réfraction ou dispersion. Dans l'expérience ci dessous on considère l'obtention de la lumière polarisée rectilignement par double réfraction. Il existe une catégorie de substances, généralement cristallines, transparentes et homogènes qui sont anisotropes du point de vue des propriétés optiques ; ça veut dire que pour une direction de propagation dérivée, elles présentent des indices de réfraction différents, fonction de l'état de polarisation de la lumière. Ces substances sont dénommées biréfringentes (double réfringentes); exemples: la wurttite (ZnS), le quartz (SiO_2) la calcite (CaCO_3). Un faisceau de lumière naturelle qui encadre un cristal biréfringent sera divisé en deux faisceaux polarisés, les directions de polarisation étant réciproquement perpendiculaires (fig. 2)

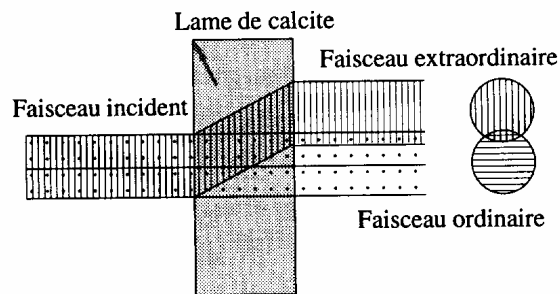


Figure 2

La construction d'un polariseur (dispositif qui permet l'obtention de la lumière rectilignement polarisée de la lumière naturelle) est basée sur une méthode de séparation des faisceaux. Généralement ont été construits des prismes polariseurs qui sont composés de cristaux biréfringents combinés avec d'autres types des matériaux pour obtenir l'effet désiré. Les prismes portent le nom de leurs inventeurs: Nicol, Rochon, Wollaston, Glan, Thomson, Foucault.

Une autre catégorie de polariseurs très importante est basée sur la propriété de dichroïsme de certains cristaux biréfringents comme la tourmaline. Un cristal de ce type absorbe une des deux composantes polarisées plus que l'autre (fig. 3).

Une composante du champ électrique s'amortie totalement au cours de la propagation dans le matériau; dans la direction perpendiculaire, le champ est faiblement amorti.

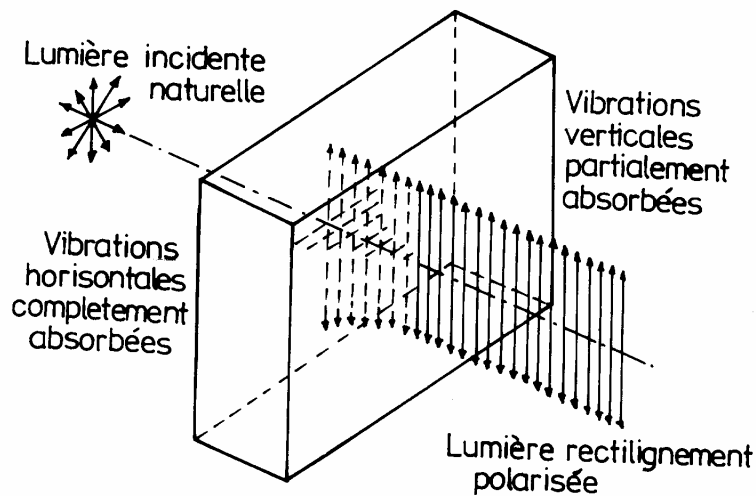


Figure 3

Ces cristaux ont été utilisés dans la réalisation des matériaux polarisants nommés généralement polaroids. Un ancien type de polaroid est formé d'une couche mince des cristaux introduits dans une matrice de plastique et fermés pour protection, entre deux plaques transparentes. Un autre type de polaroid est constitué des molécules longues, polymérisées de l'alcool polyvinylique (PVA) qui ont donné une direction préférentielles par allongement et sont colorées avec une encre qui contient de l'iodure qui produit le dichroïsme de l'ensemble des molécules. La couche de PVA est laminée sur une feuille support d'acétate butyrate de cellulose.

Les pellicules polaroid modernes ont le même principe de fabrication: l'introduction des chaînes moléculaires longues, alignées et parallèles dans une pellicule flexible; les composantes des trains d'ondes qui ont des vecteurs champ qui oscillent parallèlement avec une direction préférentielle sont transmises et ceux qui oscillent sur la direction perpendiculaire sont absorbés. (fig. 4)

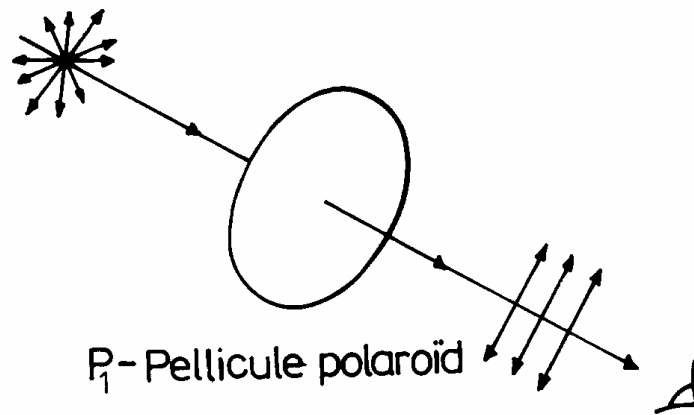


Figure 4

Le vecteur intensité champ électrique \vec{E} peut être remplacé par ces deux composantes $\vec{E}_x = \vec{i}E \sin\theta$ perpendiculaire sur la direction de polarisation et $\vec{E}_y = \vec{j}E \cos\theta$ parallèle avec elle.

Evidemment seulement la deuxième composante sera transmise et l'autre sera absorbée.

Pour mettre en évidence la propriété de polarisation de la lumière transmise par un polariseur on doit utiliser un second polariseur, qui est d'habitude nommé analyseur.

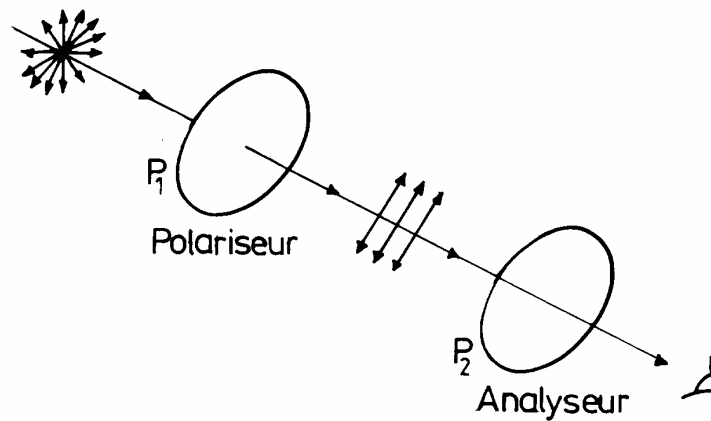


Figure 5

Si on tourne l'analyseur autour de la direction de propagation, on va constater des variations d'intensité de la lumière transmise, d'une valeur maximale (quand les directions de polarisation des deux polariseurs sont parallèles) jusqu'à une valeur minimale, nulle ou très petite (quand le polariseur et l'analyseur sont croisés).

On peut faire des mesures quantitatives correctes si dans le système de la figure 5 on remplace l'observateur avec une photodiode connectée à un microampèremètre. La photodiode donnera un courant électrique proportionnelle avec l'intensité de la lumière incidente sur elle. En notant I_{\max} et I_{\min} les valeurs maximum et minimum d'intensité de la lumière détectée, on définit le degré de polarisation de la lumière incidente exprimé en pourcentage:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \times 100. \quad (1)$$

P a des valeurs entre 0 (la lumière naturelle) et 1 (la lumière totalement polarisée). Quand P est plus petit que 1, la lumière est partiellement polarisée. Si l'angle entre les directions préférentielles de ces deux pellicules polariseurs est θ , l'analyseur va laisser passer seulement la composante parallèle avec sa direction $E_m \cos \theta$ où E_m est l'amplitude de la lumière rectilignement polarisée incidente sur l'analyseur. L'intensité de la lumière est proportionnelle avec le carré de l'amplitude et à cause de ça, l'intensité du faisceau lumineux est décrite par la relation suivante:

$$I = I_{\max} \cos^2 \theta \quad (2)$$

C'est la loi de Malus exprimée par la relation (2).

Par cette expérience, on va vérifier la loi de Malus et calculer à l'aide de la relation (1), le degré de polarisation de la lumière incidente. Aussi on mesure les transmittances du polariseur et de l'analyseur. La transmittance

est une grandeur qui nous montre quelle fraction d'intensité de la lumière est transmise. Elle est définie conformément aux relations suivantes:

$$t_p = \frac{I^P_{emergent}}{I^P_{incident}}, \quad t_a = \frac{I^a_{emergent}}{I^a_{incident}}. \quad (3)$$

Toujours $I_{emergent} < I_{incident}$.

3. Dispositif expérimental

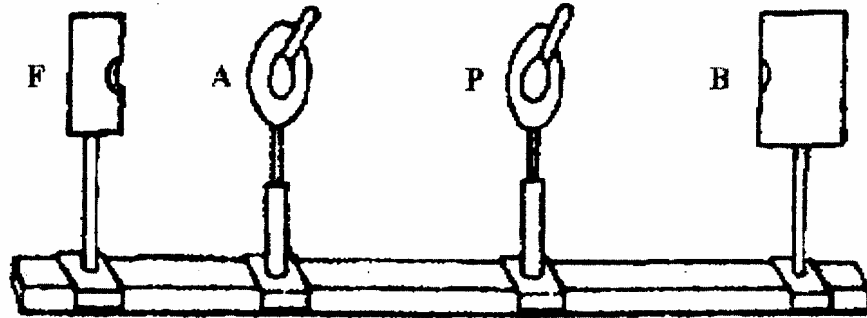


Figure 6

B - ampoule électrique, source de lumière naturelle, connectée à un réseau de 220V

P - polariseur

A - analyseur

F - cellule photoélectrique alimentée par un redresseur avec une tension continue de 80V

Le courant photoélectrique obtenu par l'incidence de la lumière sur la photocellule est mesuré à l'aide d'un galvanomètre à spot lumineux.

4. Manipulation

L'ampoule, le redresseur et le galvanomètre sont alimentés au réseau électrique. Les deux polaroïds sont tournés jusqu'au moment où l'angle entre eux est 0° (les axes de polarisation sont parallèles). En tenant le polariseur fixé on tourne en rond l'analyseur de 5° à 5° dans l'intervalle 0° et 180° et on note les valeurs du courant photoélectrique données par le galvanomètre et exprimées en divisions.

Puis, on mesure les intensités nécessaires pour le calcul des transmittances.

À une valeur fixe de l'angle entre le polariseur et l'analyseur on répète 10 fois la mesure d'intensité du courant, pour pouvoir estimer les erreurs qui interviennent dans le calcul. Les résultats obtenus sont centralisés dans le tableau numéro 1.

5. Interprétation des données expérimentales.

5.1) On complète toutes les colonnes du tableau et puis on fait les graphiques $I=I(\theta)$ et $I=I(\cos^2(\theta))$.

5.2) On calcule le degré de polarisation de la lumière incidente, en utilisant la formule (1).

5.3) On calcule les transmittances des polariseurs utilisés.

5.4) On calcule
$$\sigma_{\bar{I}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (I_k - \bar{I})^2}{n(n-1)}}$$

Tableau numéro 1

No.	θ Grd)	Cos (θ)	Cos ² (θ)	I (div)
1	0	1	1	
2	5	0.996	0.993	
3	10	0.987	0.975	
4	15	0.972	0.975	
5	20	0.951	0.904	
6	25	0.923	0.853	
7	30	0.891	0.793	
8	35	0.852	0.726	
9	40	0.809	0.654	
10	45	0.760	0.578	
11	50	0.707	0.5	
12	55	0.649	0.421	
13	60	0.587	0.25	
14	65	0.522	0.273	
15	70	0.453	0.206	
16	75	0.382	0.146	
17	80	0.309	0.095	
18	85	0.233	0.0054	
19	90	0	0	
20	95	-0.087	0.007	
21	100	-0.173	0.030	
22	105	-0.258	0.066	
23	110	-0.342	0.116	
24	115	-0.422	0.178	
25	120	-0.5	0.250	
26	125	-0.573	0.328	
27	130	-0.642	0.413	
28	135	-0.707	0.5	
29	140	-0.766	0.587	
30	145	-0.819	0.671	
31	150	-0.866	0.750	
32	155	-0.906	0.821	
33	160	-0.939	0.883	
34	165	-0.965	0.933	
35	170	-0.984	0.969	
36	175	-0.996	0.992	
37	180	-1	1	