

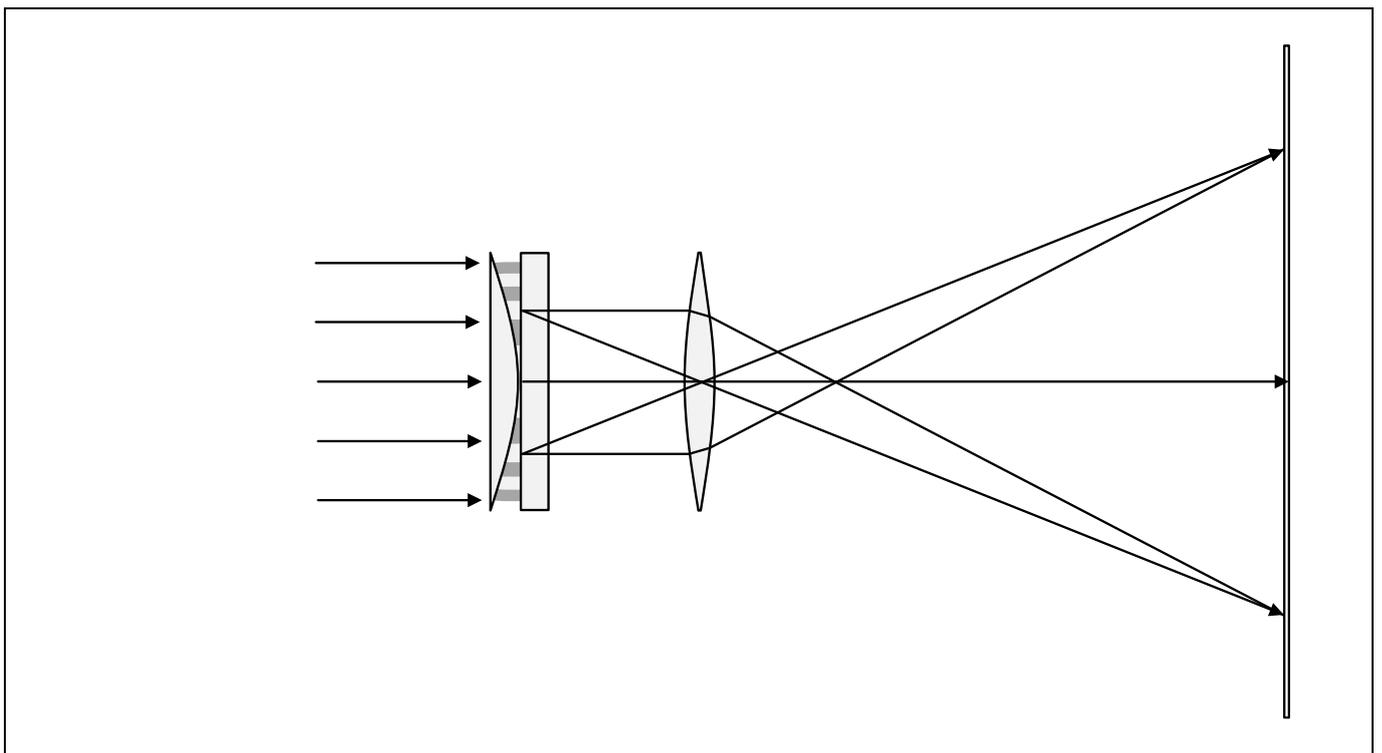
## Les anneaux de Newton dans de la lumière monochromatique continue

### Objectifs expérimentaux

- Démonstration des anneaux de Newton dans de la lumière continue sous forme de système d'anneaux d'interférence entre la face plane d'une lame de verre et une lentille plan convexe
- Détermination du rayon de courbure de la lentille plan convexe en mesurant les anneaux de Newton éclairés par la lumière jaune du spectre du sodium
- Etude de l'influence de la longueur d'onde sur les anneaux de Newton par éclairage avec la lumière monochromatique du spectre du mercure

### Principes de base

Pour qu'il y ait génération d'anneaux de Newton, une lentille convexe très légèrement curviligne est en contact avec la face plane d'une lame de verre; il se forme un coin d'air avec une surface de délimitation à courbure sphérique. Si on éclaire le dispositif avec une lumière incidente à rayons parallèles, il se forme alors des anneaux d'interférence concentriques autour du point de contact des deux surfaces. Les anneaux d'interférence s'observent aussi bien par réflexion que par transmission. L'écartement entre les anneaux d'interférence n'est pas constant étant donné qu'une surface de délimitation du coin d'air est curviligne.



**Matériel**

1 verres pour l'expérience des anneaux colorés de Newton . . . . .	471 11
2 lentilles dans monture, $f = + 100$ mm . . . . .	460 03
1 diaphragme à iris . . . . .	460 26
1 monture-support avec pinces à ressort . . . . .	460 22
1 banc d'optique à profil normalisé, 1 m . . . . .	460 32
6 cavaliers pour banc d'optique, 60 mm de haut/ 36 mm de large . . . . .	460 353
1 lampe spectrale, Na . . . . .	451 111
1 lampe spectrale, Hg . . . . .	451 062
1 carter pour lampes spectrales . . . . .	451 16
1 bobine de self universelle . . . . .	451 30
1 filtre pour raies de mercure, jaune . . . . .	468 30
1 filtre pour raies de mercure, vert . . . . .	468 31
1 filtre pour raies de mercure, bleu . . . . .	468 32
1 écran translucide . . . . .	441 53
1 socle . . . . .	300 11

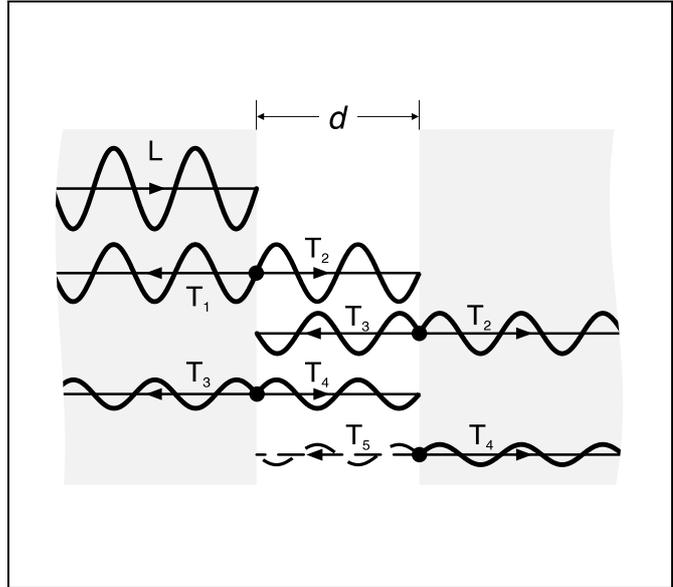


Fig. 1: Schéma expliquant l'interférence auprès d'un coin d'air

Sur la fig. 1, une onde lumineuse L venant de gauche arrive sur un coin d'air d'une épaisseur  $d$  entre deux lames de verre. L'onde partielle  $T_1$  est réfléchiée à la surface limite gauche entre la lame de verre et le coin d'air. L'onde partielle  $T_2$  traverse le coin d'air. La réflexion de l'onde partielle  $T_3$  à la surface limite droite va de paire avec un changement brusque de phase étant donné qu'il s'agit d'une réflexion sur le milieu le plus dense. L'onde partielle  $T_4$  est d'abord réfléchiée à la surface en verre droite puis à la surface en verre gauche et subit à chaque fois un changement brusque de phase. D'autres ondes partielles, ici indiquées par  $T_5$  se forment par réflexion multiple avec à chaque fois un changement brusque de phase dans le coin d'air. On observe maintenant par réflexion l'interférence des ondes partielles  $T_1, T_3$  et autres, par transmission celle des ondes partielles  $T_2, T_4$  et autres.

La différence de marche  $\Delta$  entre  $T_2$  et  $T_4$  est de

$$\Delta = 2d + 2 \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (I).$$

La condition pour l'interférence constructive

$$\Delta = n \cdot \lambda \quad \text{avec } n = 1, 2, 3 \dots$$

est donc remplie si

$$d = (n-1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \text{avec } n = 1, 2, 3 \dots \quad (II)$$

Lorsque les deux lames de verre se touchent, donc pour  $d = 0$ , il se produit toujours une interférence constructive par transmission indépendamment de la longueur d'onde de la lumière incidente. Par réflexion, on observe toujours dans ce cas-là une extinction à cause du simple changement brusque de phase de  $T_3$ . Pour un écartement fini, l'interférence dépend de l'épaisseur  $d$  du coin d'air et de la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière. Pour le coin d'air limité par une lentille convexe et pour le cas de la transmission, la situation est la suivante:

L'épaisseur  $d$  dépend de la distance  $r$  par rapport au point de contact entre la lentille convexe et la lame de verre ainsi que du rayon de courbure  $R$  de la lentille convexe. La fig. 2 donne le rapport

$$R^2 = r^2 + (R - d)^2,$$

dont on peut déduire la relation

$$d = \frac{r^2}{2R} \quad (III)$$

pour de petites épaisseurs  $d$ . Les anneaux d'une interférence constructive, donc les anneaux clairs, sont par conséquent à calculer à partir de

$$r_n^2 = (n - 1) \cdot R \cdot \lambda \quad \text{mit } n = 1, 2, 3 \dots \quad (IV)$$

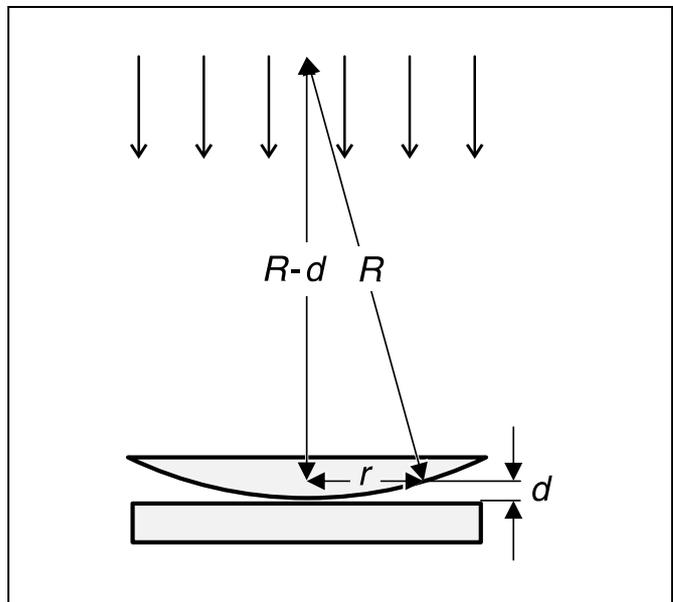
Comme la lentille plan convexe au point de contact est un peu comprimée par la pression d'appui, il faut modifier l'équation (III). En se rapprochant un peu mieux des conditions réelles, on écrit

$$d = \frac{r^2}{2R} - d_0 \quad \text{für } r \geq \sqrt{2Rd_0} \quad (V).$$

Pour les rayons  $r_n$  des anneaux d'interférence clairs on a alors le rapport

$$n^2 = (n - 1) R \lambda + 2 R d_0 \quad \text{avec } n = 2, 3 \dots \quad (VI)$$

Fig. 2: Représentation schématique du coin d'air entre la lame de verre et la lentille plan convexe



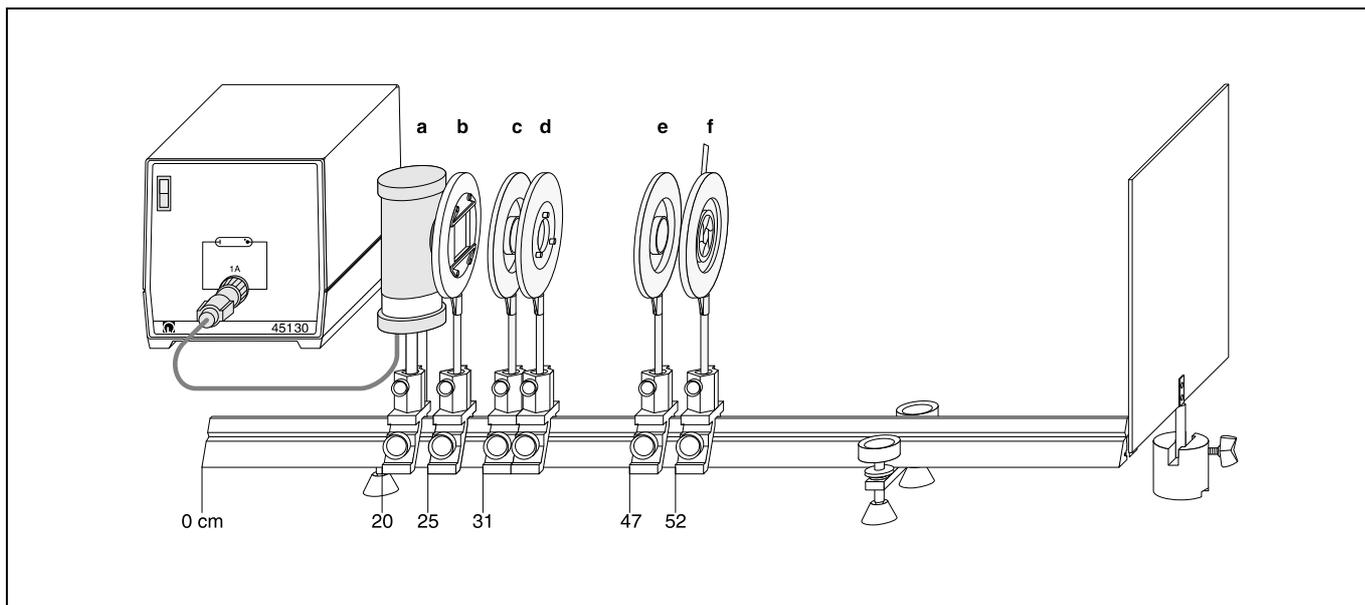


Fig. 3: Montage expérimental sur le banc d'optique avec indication en cm du positionnement du bord gauche des cavaliers pour banc d'optique

- (a) lampe spectrale Na (ou Hg)
- (b) porte-objet
- (c) lentille,  $f = 100$  mm
- (d) verres pour l'expérience des anneaux colorés de Newton
- (e) lentille,  $f = 100$  mm
- (f) diaphragme à iris

### Montage

Remarque: Réaliser les mesures dans une pièce si possible entièrement obscurcie.

#### Verres pour l'expérience des anneaux colorés de Newton:

- Tenir les «verres pour l'expérience des anneaux colorés de Newton» devant un fond clair et les observer à la lumière réfléchie; d'abord desserrer entièrement les trois vis moletées.
- Serrer les vis moletées avec précaution jusqu'à ce que
  - a) les lames de verre se touchent (c.-à-d. jusqu'à ce qu'ils ne se forment plus d'autres anneaux d'interférence à partir du centre et que l'anneau d'interférence le plus à l'intérieur soit sombre).
  - b) le système d'anneaux se trouve exactement au milieu de l'échelle (le système d'anneaux se déplace toujours en direction de la vis moletée qui vient d'être resserrée).

Remarque: une autre augmentation de la pression d'appui déforme les verres.

#### Montage sur le banc d'optique:

Le montage expérimental est représenté à la fig. 3.

- Monter les éléments optiques sur le banc d'optique tout en respectant les positions indiquées pour le bord gauche des cavaliers optiques.
- Placer l'écran translucide à une distance d'1 ou 2 m.
- Installer la monture-support des «verres pour l'expérience des anneaux colorés de Newton» (d) de telle sorte que les vis d'ajustage soient tournées vers l'écran translucide; rapprocher le cavalier pour banc d'optique le plus possible de la lentille (c).
- Monter la lampe spectrale, Na; brancher et enclencher la bobine de self universelle; après un temps de réchauffement de quelques minutes, déplacer le cavalier pour banc d'optique jusqu'à ce que les «verres pour l'expérience des anneaux colorés de Newton» soient le mieux éclairés possible.

- Déplacer la lentille (e) ou l'écran translucide jusqu'à obtention d'une image nette des anneaux de Newton, l'échelle étant encore parfaitement lisible.
- Si besoin est, vérifier l'ajustage des «verres pour l'expérience des anneaux colorés de Newton» à l'aide des vis moletées (l'anneau le plus à l'intérieur est maintenant clair!).

### Réalisation

Remarque: L'ajustage des verres pour l'expérience des anneaux colorés de Newton ayant été réalisé, ne pas le modifier. Éviter tout particulièrement de toucher les vis moletées.

#### a) Mesure avec la lampe spectrale Na:

- Installer le diaphragme à iris (f) de façon à avoir un contraste clair-foncé optimal des anneaux de Newton.
- Relever sur l'échelle le point d'intersection gauche  $r_g$  et le point d'intersection droit  $r_d$  des anneaux clairs, puis le noter.

#### b) Mesure avec la lampe spectrale Hg:

Attention: Pour le démontage, attendre que les lampes spectrales aient refroidi ou bien s'en emparer avec un chiffon.

- Remplacer la lampe spectrale Na par la lampe spectrale Hg.
- Enclencher la bobine de self universelle et attendre l'écoulement de la phase de réchauffement de quelques minutes.
- Observer les anneaux de Newton à franges colorées.
- Fixer le filtre jaune dans la monture; installer le diaphragme à iris de façon à avoir un contraste clair-foncé optimal des anneaux de Newton.
- Relever sur l'échelle le point d'intersection gauche  $r_g$  et le point d'intersection droit  $r_d$  des anneaux clairs et le noter.
- Recommencer la mesure avec les filtres colorés vert et bleu.

**Exemple de mesure**

Tab. 1: Points d'intersection gauche et droit des anneaux de Newton en cas d'éclairage avec la lumière spectrale jaune du Na

N°	$\frac{r_g}{\text{mm}}$	$\frac{r_d}{\text{mm}}$
2	3,9	3,8
3	5,3	5,1
4	6,3	6,0
5	7,2	6,8
6	8,0	7,4
7	8,7	8,1
8	9,2	8,7
9	9,9	9,3
10	10,3	9,9
11	10,8	10,2
12	11,2	10,8

Tab. 2: Points d'intersection gauche et droit des anneaux de Newton en cas d'éclairage avec la lumière spectrale jaune, verte et bleue du Hg

N°	jaune		vert		bleu	
	$\frac{r_g}{\text{mm}}$	$\frac{r_d}{\text{mm}}$	$\frac{r_g}{\text{mm}}$	$\frac{r_d}{\text{mm}}$	$\frac{r_g}{\text{mm}}$	$\frac{r_d}{\text{mm}}$
2	3,9	3,9	3,7	3,6	3,5	3,4
3	5,2	5,0	5,3	5,0	4,6	4,5
4	6,3	6,0	6,2	5,9	5,5	5,4
5	7,1	6,8	7,0	6,7	6,2	6,0
6	8,0	7,4	7,6	7,3	7,1	6,7
7	8,7	8,0	8,3	7,8	7,5	7,2
8	9,2	8,7	8,9	8,4	8,1	7,8
9	9,8	9,2	9,5	9,0	8,7	8,2

**Exploitation**

**a) Mesure avec la lampe spectrale Na:**

Les résultats de mesure du tableau 1 sont représentés sous forme graphique à la fig. 4, le rayon  $r$  est calculé à chaque fois à partir de la moyenne de  $r_g$  et  $r_d$ .

La droite tracée a la pente

$$\frac{\Delta r^2}{\Delta (n-1)} = 10,7 \text{ mm}^2.$$

A partir de cette valeur, on peut calculer avec l'équation (VI) la valeur

$$R = 18,2 \text{ m}$$

avec la longueur d'onde de la raie Na-D  $\lambda = 589 \text{ nm}$  pour le rayon de courbure de la lentille convexe.

Le segment de l'axe

$$r^2(n = 1) = 5,0 \text{ mm}^2$$

correspond à un aplatissement de la lentille pour un serrage de  $d_0 = 0,14 \text{ }\mu\text{m}$ .

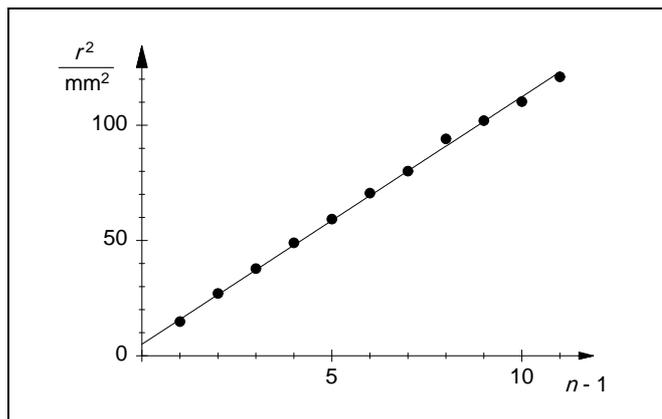


Fig. 4: Rapport entre les rayons  $r$  des anneaux d'interférence clairs et leur numéro courant  $n$  pour une exposition à la lumière de la raie Na-D

**b) Mesure avec la lampe spectrale Hg:**

La fig. 5 montre le rapport entre  $r_n^2$  et  $n$  pour les raies spectrales de la lampe Hg. La pente de la droite tracée augmente proportionnellement à la longueur d'onde des raies Hg en conformité avec l'équation (VI) (voir tab. 3).

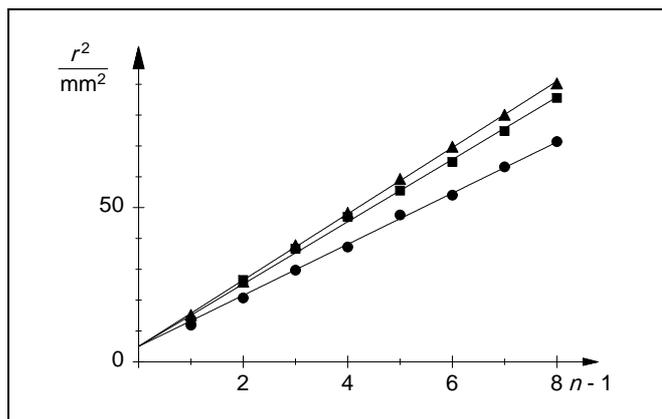


Fig. 5: Rapport entre les rayons  $r$  des anneaux d'interférence clairs et leur numéro courant  $n$  pour une exposition à la lumière jaune (triangles), verte (carrés) et bleue (ronds) du spectre du mercure

Tab. 3: Pente  $a$  des graphes de la fig. 5

Couleur	$\frac{\lambda}{\text{nm}}$	$\frac{a}{\text{mm}^2}$
bleu	436	8,3
vert	546	10,1
jaune	579	10,7

**Résultat**

La structure concentrique et la variation de l'écartement des anneaux de Newton s'expliquent par la courbure sphérique de la lentille convexe qui limite le coin d'air.

Si le dispositif est irradié de lumière blanche, les anneaux d'interférence sont entourés de franges colorées parce que le diamètre des anneaux d'interférence augmente avec la longueur d'onde (voir (IV) et (VI)).