

$\alpha = \frac{Ad}{AP}$ et $\gamma = \frac{A'E}{CA'}$, ou $\alpha = \frac{AI}{p}$ et $\gamma = \frac{A'E}{R}$, en posant $AP = p$, $CA' = R$, et en remplaçant l'arc Ad par l'arc AI qui lui est sensiblement égal. Sur l'autre face de la lentille, si l'on suppose encore les arcs ϵ et δ décrits d'un rayon égal à l'unité, et l'arc $A'n$ décrit avec le rayon $P'A'$, en faisant $C'A' = R'$, et $A'P' = p'$, on a de même $\delta = \frac{AI}{R'}$, et $\epsilon = \frac{A'n}{P'A'} = \frac{A'E}{p'}$.

Portant ces valeurs dans l'équation [2], il vient

$$(n-1) \left(\frac{A'E}{R} + \frac{AI}{R'} \right) = \frac{AI}{p} + \frac{A'E}{p'}$$

Si l'on admet que les arcs $A'E$ et AI soient égaux, ce qui est d'autant plus près de la vérité que les rayons incidents s'écartent moins de l'axe, on peut supprimer le facteur commun; ce qui donne enfin

$$(n-1) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right) = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad [3].$$

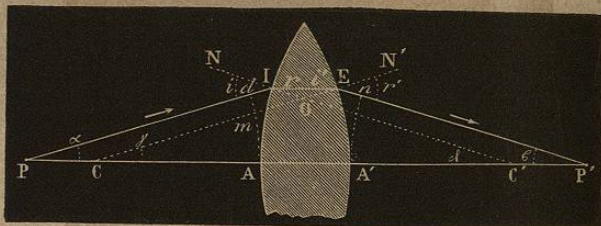


Fig. 356.

Telle est la formule des lentilles biconvexes. Si l'on y fait $p = \infty$, on trouve

$$\frac{1}{p'} = (n-1) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right),$$

p' désignant alors la distance focale principale. En représentant celle-ci par f , on a

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right) \quad [4],$$

équation dont il est facile de tirer la valeur de f . En ayant égard à la formule [4], la formule [3] prend la forme

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \quad [5],$$

qui est celle sous laquelle on la considère ordinairement.

Lorsque l'image est virtuelle, p' change de signe, et la formule [5] prend la forme

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \quad [6].$$

Dans les lentilles biconcaves p' et f conservent le même signe, mais celui de p change; la formule [5] devient alors

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = -\frac{1}{f} \quad [7].$$

Si dans la formule [3] ci-dessus, on fait $p' = 2f$, on trouve aussi $p = 2f$; c'est-à-dire qu'un objet étant placé en avant d'une lentille biconvexe, à une distance double de la distance focale, l'image se fait de l'autre côté à la même distance, et, par conséquent, est de même grandeur.

CHAPITRE IV.

DISPERSION ET ACHROMATISME.

487. **Décomposition de la lumière blanche, spectre solaire.** — Le phénomène de la réfraction n'est pas aussi simple qu'on l'a supposé jusqu'ici : quand la lumière *blanche*, c'est-à-dire celle qui

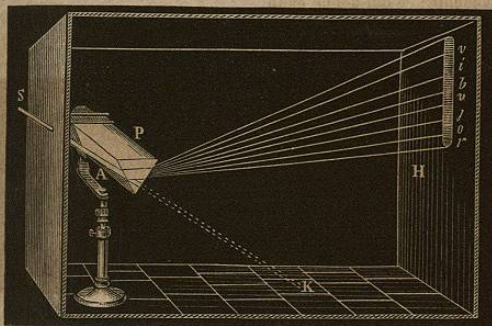


Fig. 357.

nous arrive du soleil, passe d'un milieu dans un autre, elle n'est pas seulement déviée, elle est décomposée en plusieurs espèces de lumières, phénomène qu'on désigne sous le nom de *dispersion*.

Pour démontrer que la lumière blanche est décomposée par l'effet de la réfraction, on reçoit, dans une chambre obscure, un faisceau de lumière solaire SA (fig. 357), à travers une très-petite ouverture pratiquée dans le volet. Ce faisceau tend à aller former en K une image ronde et incolore du soleil; mais si l'on interpose, sur son passage, un prisme de flint-glass P, disposé horizontalement, le faisceau, à l'entrée et à la sortie du prisme, se réfracte vers la base de celui-ci, et, au lieu d'une image ronde et incolore, on reçoit, sur un écran éloigné, une image H, qui, dans la direction horizontale, est de même dimension que le faisceau primitif, mais oblongue dans le sens vertical, et colorée des belles teintes de l'arc-en-ciel. Cette image colorée s'appelle *spectre solaire*. Il existe en réalité, dans le spectre, une infinité de teintes, mais on en distingue sept principales, disposées, à partir de la plus réfrangible, dans l'ordre suivant : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé,

rouge. Ces couleurs n'occupent pas toutes une étendue égale dans le spectre; c'est le violet qui a le plus d'étendue et l'orangé qui en a le moins.

Avec des prismes diaphanes de différentes substances, ou avec des prismes de verre creux, remplis de divers liquides, on obtient constamment des spectres formés des mêmes couleurs et dans le même ordre; mais, à angle réfringent égal, la longueur du spectre varie avec la substance dont le prisme est formé. Celles qui lui donnent le plus d'étendue sont dites plus *dispersives*, et la dispersion se mesure par la différence des indices de réfraction des rayons extrêmes du spectre. Pour le flint-glass, cette différence est 0,0433; pour le crown-glass, elle est 0,0246; la dispersion du flint est donc presque double de celle du crown.

Pour des prismes de même substance, la dispersion décroît avec l'angle réfringent du prisme; car si cet angle était nul, les faces d'incidence et d'émergence seraient parallèles, et la lumière ne serait pas décomposée.

Dans les spectres que donnent les lumières artificielles, on n'observe pas d'autres couleurs que celles que présente le spectre solaire, et leur ordre est le même; mais, en général, il en manque quelques-unes. Leur intensité relative est aussi très-modifiée. La nuance qui domine dans une flamme artificielle est également celle qui domine dans son spectre. Les flammes jaunes, rouges, vertes, donnent des spectres où la teinte dominante est le jaune, le rouge, le vert.

Pour produire un spectre solaire dont les sept couleurs principales soient bien séparées, l'ouverture par laquelle entre la lumière solaire ne doit avoir que quelques millimètres de diamètre, et l'angle réfringent du prisme étant de 60 degrés, l'écran sur lequel on reçoit le spectre doit être éloigné de 5 à 6 mètres.

488. Les couleurs du spectre sont simples et inégalement ré-

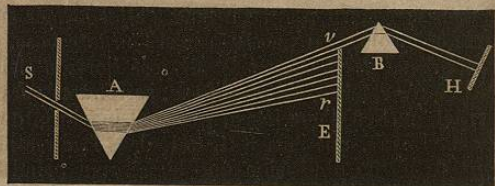


Fig. 338.

frangibles. — Si l'on isole une des couleurs du spectre en interceptant les autres au moyen d'un écran E, comme le montre la figure 338, et qu'on la fasse passer à travers un second prisme B, on

observe bien encore une déviation, mais la lumière reste identiquement la même, c'est-à-dire que l'image reçue sur l'écran H est violette, si l'on a laissé passer le faisceau violet; bleue, si l'on a laissé passer le faisceau bleu: ce qui démontre que les couleurs du spectre sont *simples*, c'est-à-dire indécomposables par le prisme.

De plus, les couleurs du spectre sont inégalement *réfrangibles*, c'est-à-dire qu'elles possèdent des indices de réfraction différents. La forme allongée du spectre suffirait pour démontrer l'inégale réfrangibilité des couleurs simples, car il est évident que la couleur violette, qui est la plus déviée vers la base du prisme (fig. 357), est aussi la plus réfrangible, et que la couleur rouge, qui est la moins déviée, est la moins réfrangible. Mais on peut encore démontrer l'inégale réfrangibilité des couleurs simples par plusieurs expériences. Nous citerons les deux suivantes:

1^o On colle sur un carton noir, l'une à la suite de l'autre, deux bandes étroites de papier, la première rouge, la seconde violette; puis on les regarde à travers un prisme. On les voit déviées toutes les deux, mais inégalement; la bande rouge l'est moins que la bande violette; ce qui fait voir que les rayons rouges sont les moins réfractés.

2^o On fait encore l'expérience des prismes croisés de Newton: sur un premier prisme A (fig. 359), disposé horizontalement, on reçoit un faisceau de lumière blanche S, qui, lorsqu'il ne traverse que le prisme A, va former le spectre *rv* sur un écran éloigné. Si l'on place alors, verticalement derrière le premier, un second prisme

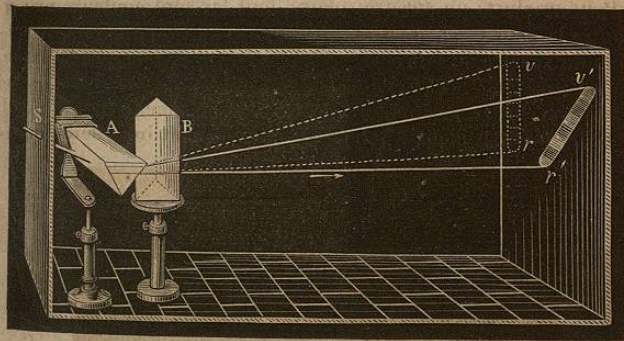


Fig. 359.

B, de manière qu'il soit lui-même traversé par le faisceau réfracté, le spectre *rv* est dévié vers la base du prisme vertical; mais au lieu de l'être parallèlement à lui-même, comme il arriverait si toutes les

couleurs du spectre étaient réfractées également, il l'est obliquement en $r'v'$; ce qui fait voir qu'en allant du rouge au violet, les couleurs sont de plus en plus réfrangibles.

Ces diverses expériences démontrent que l'indice de réfraction varie pour chaque couleur; en outre, il est à observer que tous les rayons d'une même couleur n'ont pas le même indice. En effet, dans la zone rouge, par exemple, les rayons qui forment l'extrémité du spectre sont moins réfractés que ceux qui sont voisins de la zone orangée. Dans les calculs des indices de réfraction (474), on est convenu de prendre pour indice d'une substance celui du rayon jaune dans le spectre donné par cette substance.

489. **Recomposition de la lumière blanche.** — Après avoir dé-

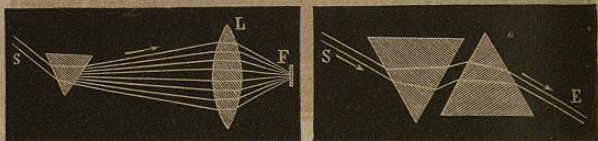


Fig. 360.

Fig. 361.

composé la lumière blanche, il restait à reconnaître si l'on pouvait la reproduire en réunissant les différents faisceaux séparés par le prisme. Or, cette recombinaison peut s'opérer par un grand nombre de procédés :

1° Si l'on reçoit le spectre sur un second prisme de même angle réfringent que le premier, et tourné en sens contraire, comme le montre la figure 361, ce dernier prisme réunit les différentes couleurs du spectre, et l'on observe que le faisceau émergent E, parallèle au faisceau S, est incolore.

2° On reçoit le spectre sur une lentille biconvexe (fig. 360), et plaçant un écran blanc à son foyer, on y recueille une image blanche du soleil; un ballon de verre rempli d'eau produirait le même effet que la lentille.

3° On fait tomber le spectre sur un miroir concave (fig. 362), et au foyer, sur un écran de verre dépoli, se forme une image blanche.

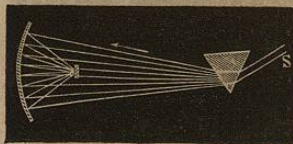


Fig. 362.

4° On recombine encore la lumière au moyen d'une expérience remarquable, qui consiste à recevoir les sept couleurs du spectre respectivement sur sept petits miroirs de verre, à faces bien parallèles, pour ne pas décomposer la lumière, et pouvant s'incliner

dans tous les sens pour porter la lumière réfléchi dans telle direction qu'on veut (fig. 363). En dirigeant convenablement ces miroirs,

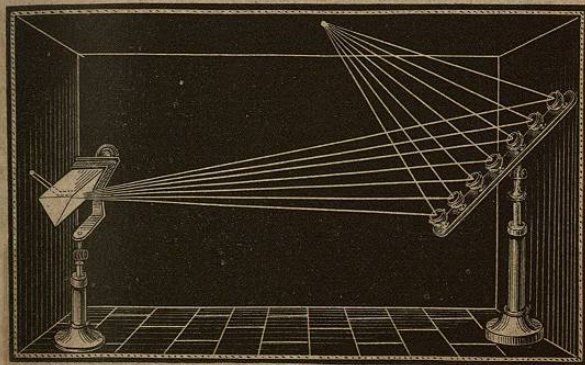


Fig. 363.

on fait d'abord tomber, sur le plafond par exemple, les sept faisceaux réfléchis, qui donnent dessus sept images distinctes, rouge,

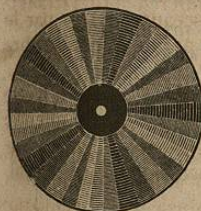


Fig. 364.

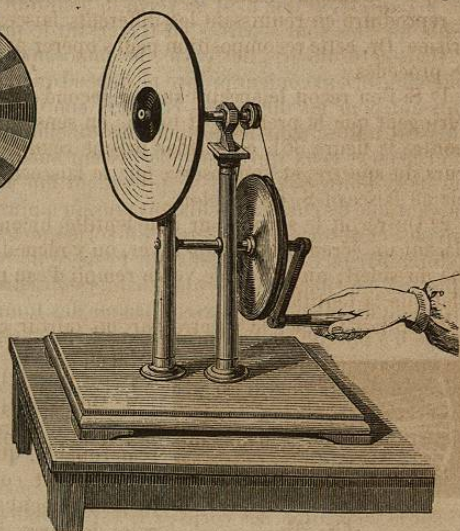


Fig. 365.

orangée, jaune...; puis faisant mouvoir les miroirs de manière que

les sept images viennent exactement se superposer, on obtient alors une image unique, qui est blanche.

5° Enfin, on démontre que les sept couleurs du spectre forment du blanc, au moyen du disque de Newton. C'est un disque de carton de 35 centimètres de diamètre environ; le centre et les bords en sont recouverts de papier noir, et dans l'intervalle sont collées des bandes de papier rouges, orangées, jaunes, vertes, bleues, indigo et violettes, allant du centre à la circonférence, de manière à imiter circulairement cinq spectres successifs par la nature des teintes et par leur étendue relative (fig. 364). En imprimant à ce disque un mouvement de rotation rapide, la rétine reçoit alors simultanément l'impression des sept couleurs du spectre, et le disque paraît blanc (fig. 365), ou du moins d'un blanc gris, car les couleurs qui le recouvrent ne sont pas exactement celles du spectre.

490. **Théorie de Newton sur la composition de la lumière et sur la couleur des corps.** — C'est Newton qui, le premier, décomposa la lumière blanche par le prisme, et la recomposa. Des diverses expériences que nous avons fait connaître ci-dessus, il conclut que la lumière blanche n'est pas homogène, mais formée de sept lumières inégalement réfrangibles, qu'il nomma lumières *simples* ou *primitives*, et que c'est en vertu de leur différence de réfrangibilité qu'elles sont séparées en traversant le prisme.

Dans cette théorie, les corps décomposent aussi la lumière par réflexion, et leur couleur propre ne dépend que de leur pouvoir réfléchissant pour les différentes couleurs simples. Ceux qui les réfléchissent toutes, dans les proportions qu'elles ont dans le spectre, sont blancs; ceux qui n'en réfléchissent aucune sont noirs. Entre ces deux limites extrêmes se présentent une infinité de nuances, suivant que les corps réfléchissent plus ou moins certaines couleurs simples et absorbent les autres. En sorte que les corps ne sont pas colorés par eux-mêmes, mais par l'espèce de lumière qu'ils réfléchissent. En effet, si dans une chambre obscure on éclaire successivement un même corps avec chacune des lumières du spectre, ce corps n'a plus de couleur propre; ne pouvant réfléchir que l'espèce de lumière qu'il reçoit, il paraît rouge, orangé, jaune..., suivant le faisceau dans lequel il est placé. La couleur des corps varie encore avec la nature de la lumière. C'est ce qui arrive pour la lumière du gaz et des bougies, dans laquelle le jaune domine, et qui communique cette teinte aux objets qu'elle éclaire.

Telle est la théorie de Newton sur la composition de la lumière et sur la coloration des corps; elle est généralement admise par les physiciens. Quelques-uns cependant n'admettent pas sept couleurs simples. M. Brewster, professeur à Édimbourg, n'en compte que

trois, qui sont le rouge, le jaune et le bleu. Ayant analysé le spectre solaire en le regardant à travers des substances colorées qui ne laissent passer que certaines couleurs et absorbent les autres, ce savant a observé qu'il existe du rouge dans toutes les parties du spectre, ainsi que du jaune et du bleu. De là il a admis que le spectre solaire est formé de trois spectres superposés, de même étendue, l'un rouge, l'autre jaune, le troisième bleu, et que les trois spectres ont leur maximum d'intensité en des points différents, d'où résultent les différentes teintes du spectre solaire. Cette théorie n'a pas été adoptée par les physiciens français.

491. **Couleurs complémentaires.** — Newton a nommé *couleurs complémentaires*, celles qui, réunies, forment du blanc. Le vert est complémentaire du rouge violacé, le bleu de l'orangé, le violet du jaune. Une couleur quelconque a toujours sa couleur complémentaire, car, n'étant pas blanche, il lui manque quelques-unes des couleurs du spectre pour former de la lumière blanche; le mélange de ces couleurs doit donc en donner une complémentaire de la première.

492. **Propriétés du spectre.** — On distingue, dans les couleurs du spectre, des propriétés *éclairantes*, des propriétés *calorifiques* et des propriétés *chimiques*.

1° **Propriétés éclairantes.** — D'après les expériences de Fraunhofer et d'Herschel, c'est dans le jaune qu'a lieu le maximum d'intensité de la lumière, et c'est dans le violet qu'a lieu le minimum.

2° **Propriétés calorifiques.** — L'intensité de la chaleur réfractée en même temps que les rayons solaires varie dans le spectre. Leslie fit voir, le premier, qu'elle croît du violet vers le rouge. Herschel fixa le maximum dans la bande obscure qui termine le rouge; Bérard, dans le rouge même. Cette différence dans les résultats fut expliquée par Seebeck, qui observa qu'elle dépendait de la nature du prisme réfringent. Avec un prisme d'eau, il trouva le maximum dans le jaune; avec un prisme d'alcool, il l'observa dans le jaune orangé, et enfin dans le rouge moyen, avec un prisme de crown.

Melloni a confirmé les expériences de Seebeck au moyen de son thermo-multiplicateur; il a trouvé, en outre, que le maximum de chaleur s'éloigne d'autant plus du jaune vers le rouge, que la substance du prisme est plus diathermane (389). Avec un prisme de sel gemme, qui est le plus diathermane de tous les corps, le maximum se forme tout à fait au delà du rouge.

3° **Propriétés chimiques.** — Dans un grand nombre de phénomènes, la lumière solaire se comporte comme un agent chimique. Par exemple, le protochlorure de mercure et le chlorure d'argent noircissent par l'action de la lumière; le phosphore diaphane dé-

vient opaque; les principes colorants d'origine végétale se détruisent. La lumière suffit même pour déterminer des combinaisons, comme il arrive avec un mélange de chlore et d'hydrogène; c'est elle, enfin, qui contribue principalement à la production de la matière verte dans les plantes. Toutefois les diverses couleurs du spectre ne possèdent pas la même action chimique. Scheele, le premier, fit voir que l'effet du rayon violet sur le chlorure d'argent est plus sensible que celui des autres rayons. Wollaston observa même que cette action s'étendait hors du spectre visible, avec la même intensité que dans le violet, et il en conclut qu'outre les rayons qui agissent sur la rétine, il existe des rayons invisibles, qui sont plus réfrangibles. Les rayons qui possèdent la propriété de déterminer des réactions entre les éléments des corps ont reçu le nom de *rayons chimiques*.

M. Edmond Becquerel a découvert, en outre, dans le spectre, deux espèces de rayons qu'il appelle, les uns *rayons continuaturs*, et les autres, *rayons phosphorogéniques*. Les premiers sont des rayons qui n'exercent point d'action chimique par eux-mêmes, mais qui ont la propriété de la continuer lorsqu'elle est commencée. Les rayons phosphorogéniques sont des rayons qui ont la propriété de rendre certains corps, le sulfure de baryum, par exemple, lumineux dans l'obscurité, lorsqu'ils ont été exposés quelque temps à la lumière solaire. M. Ed. Becquerel a reconnu que le spectre phosphorogénique s'étend depuis l'indigo jusque bien au delà du violet.

* 493. **Raies du spectre.** — Les diverses couleurs du spectre solaire ne sont point continues. Pour plusieurs degrés de réfrangibilité, les rayons manquent; de là résultent, dans toute l'étendue du spectre, un grand nombre de bandes obscures très-étroites qu'on nomme les *raies du spectre*. Pour les observer, on reçoit un faisceau de lumière solaire dans une chambre obscure, par une fente très-étroite; et à la distance de 3 à 4 mètres, on regarde cette fente à travers un prisme de flint bien exempt de stries, en tenant les arêtes parallèles aux bords de la fente. On observe alors un grand nombre de raies obscures très-délinées parallèles aux arêtes du prisme et très-irégulièrement espacées.

C'est Wollaston qui, le premier, en 1802, signala les raies du spectre; mais c'est Fraunhofer, célèbre opticien de Munich, qui, le premier, en 1815, les étudia avec soin et en donna une description détaillée, avec un dessin précis, dans lequel il indiqua par les lettres de l'alphabet A, *a*, B, C, D, E, *b*, F, G, H, les plus apparentes de ces raies, qu'on désigne ordinairement sous le nom de *raies de Fraunhofer*. La raie A est à la limite du rouge; B, au milieu; C, à la limite du rouge et de l'orangé; D, dans l'orangé; E, dans le vert; F, dans le bleu; G, dans l'indigo, et H, dans le violet. Il y a encore d'autres raies remarquables, telles que *a* dans le rouge et *b* dans le vert. Avec la lumière solaire, ces raies ont des positions fixes, ce qui donne le moyen de mesurer avec précision l'indice de chaque couleur simple. Dans les spectres formés par une lumière artificielle ou par celle des étoiles, la position relative des raies est changée; avec la lumière électrique, les raies obscures sont remplacées par des raies brillantes. Avec les flammes colorées, ou dans lesquelles se vaporisent certaines substances chimiques, les raies prennent des teintes éclatantes très-variables. Enfin, des raies du

spectre, les unes sont constantes de position et d'éclat, telles sont les raies de Fraunhofer; mais parmi les petites raies, il en est dont l'apparition dépend de la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon et de l'état de l'atmosphère. Les raies fixes sont dues au soleil; quant aux raies variables, on les attribue à l'absorption par l'air, et on les désigne sous le nom de *raies atmosphériques*, ou de *raies telluriques*.

Fraunhofer avait compté dans le spectre plus de 600 raies plus ou moins larges et obscures, inégalement distribuées depuis le rouge jusqu'au violet. Sir David Brewster a porté le nombre des raies à 2000. En recevant les rayons réfractés successivement à travers plusieurs prismes analyseurs, non seulement on est arrivé aujourd'hui à plus de 3000 raies, mais plusieurs, qu'on regardait comme simples, ont été dédoublées.

* 494. **Applications des raies du spectre.** — Après Fraunhofer, plusieurs physiciens ont poursuivi l'étude des raies du spectre. Dès 1822, sir John Herschel faisait remarquer que les substances volatilisées dans une flamme fournissaient un moyen très-sensible de reconnaître la présence de tel ou tel corps par la coloration qu'elles donnaient aux raies du spectre. Depuis, ces phénomènes ont été successivement étudiés par MM. Ed. Becquerel, Draper, Stokes, Wheatstone, Foucault, Masson, Angstroem, Plucker et Talbot; mais ce sont surtout MM. Kirchhoff et Bunsen, à Heidelberg, qui ont fait connaître l'importante application que présentent les raies du spectre à l'analyse chimique, en constatant que tous les sels d'un même métal introduits dans une flamme produisaient constamment des raies identiques de teinte et de position, tandis que les raies changent de teinte, de position et de nombre pour chaque métal; et qu'enfin des quantités infiniment petites d'un métal suffisent pour en déceler la présence. De là un nouveau procédé d'analyse, qu'on désigne sous le nom d'*analyse spectrale*.

* 495. **Spectroscope.** — On donne le nom de *spectroscope* à l'appareil qu'on adopte MM. Kirchhoff et Bunsen pour étudier le spectre. Cet appareil est représenté dans la figure 366, tel qu'il a été modifié par MM. Duboseq et Grandjean. Il se compose de trois lunettes montées sur un pied commun, et dont les axes convergent vers les faces d'un prisme de flint P. La lunette A peut seule tourner autour du prisme. On la fixe par une vis de pression *n* dans la position qu'on veut lui donner. Le bouton *m* sert à *mettre au foyer*, c'est-à-dire à faire avancer ou reculer l'oculaire, jusqu'à ce qu'on voie nettement l'image du spectre (333); enfin, le bouton *s* donne le moyen d'incliner plus ou moins la lunette.

Pour faire comprendre l'usage des lunettes B et C, reportons-nous à la figure 367, qui représente la marche de la lumière dans tout l'appareil. Les rayons émis par la flamme G rencontrent une première lentille *a* qui les fait converger en un point *b*, qui est le foyer principal d'une seconde lentille *c*. Par suite, c'est un faisceau parallèle qui sort de la lunette B et qui entre dans le prisme. A la sortie de celui-ci, la lumière est décomposée, et les sept faisceaux du spectre tombent sur la lentille *x* qui en forme en *i* une image réelle et renversée. C'est enfin cette image que l'observateur regarde avec une loupe *z*, qui donne en *ss'* l'image virtuelle du spectre, avec un grossissement d'environ huit fois.

Quant à la lunette C, elle sert à mesurer la distance relative des raies du spectre. Pour cela, à son extrémité antérieure est un micromètre divisé en 250 parties égales. Pour obtenir ces divisions, on a une bande de papier sur laquelle est tracée une échelle de 250 millimètres avec la graduation de 10 en 10; puis, par la photographie, on prend de cette échelle une image sur verre, réduite à 15 millimètres de longueur, et *négligée*, c'est-à-dire que le micromètre reproduit en clair, sur fond noir, l'image noire sur fond blanc de l'échelle. Le micromètre ainsi construit, et placé à l'extrémité du tube C, se trouve correspondre au foyer principal d'une lentille *e*, qui, par suite, envoie sur le prisme un faisceau parallèle. Or, une portion de ce faisceau, étant réfléchi sur la face du prisme, est renvoyée dans la lunette A, et y donne en clair, sur le spectre même, une

image parfaitement nette du micromètre, laquelle donne le moyen de mesure avec précision les distances relatives des différentes raies.

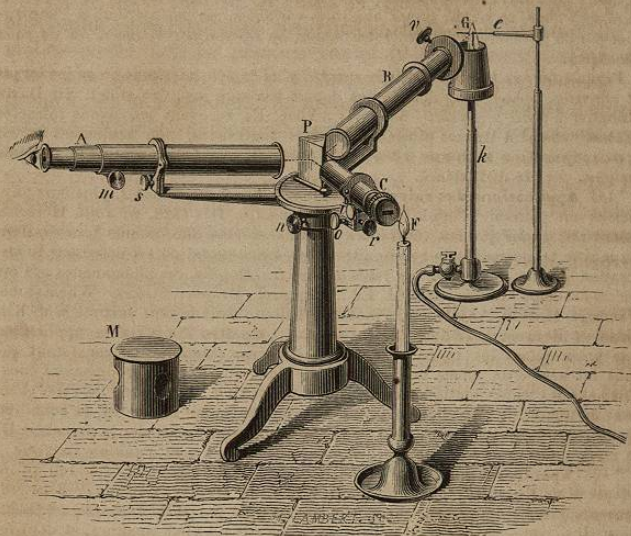


Fig. 366.

La lunette micrométrique est en outre munie de plusieurs vis de rappel *i*, *o*, *r*; la vis *i* est la mise au foyer; *o* sert à déplacer le micromètre laterale-

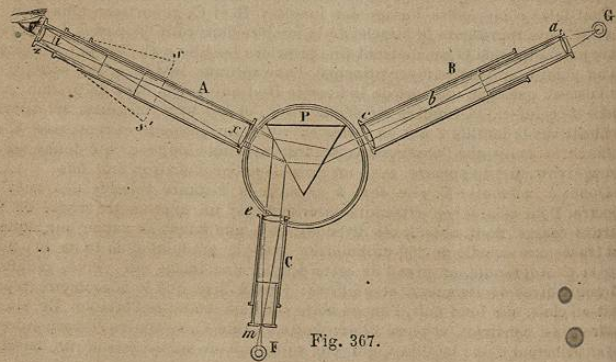
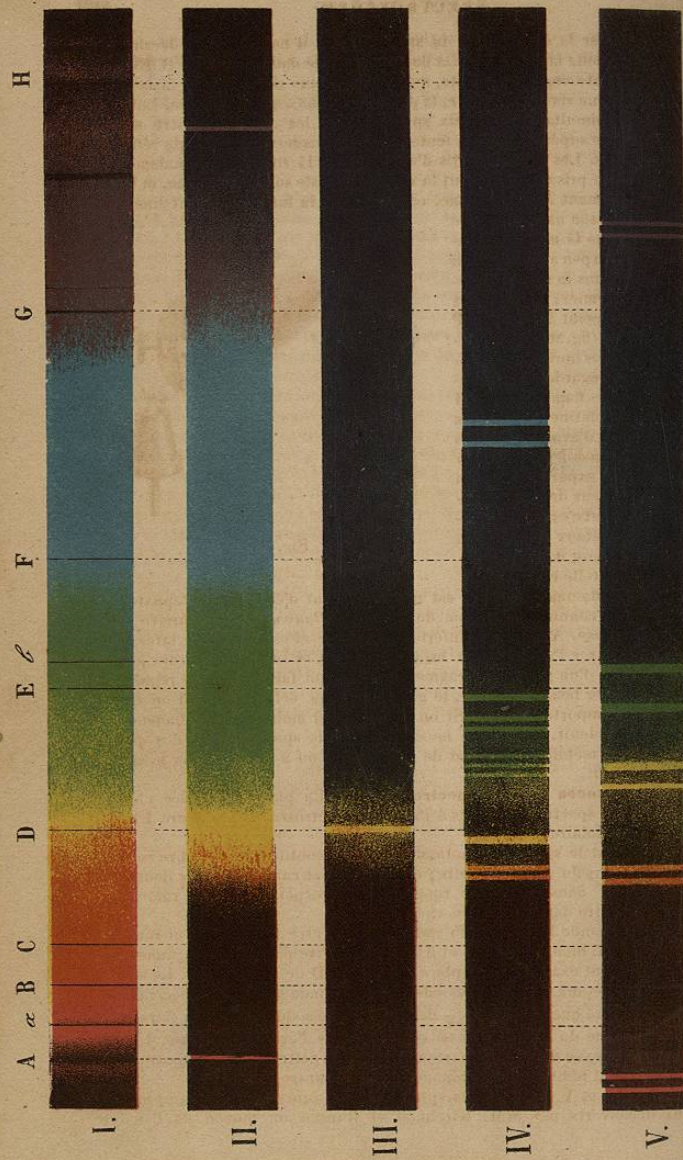


Fig. 367.

ment dans le sens du spectre; et *r*, à incliner plus ou moins la lunette pour élever ou abaisser le micromètre.

FAC. DE MED. U. A. N. L.

BIBLIOTHECA FAC. DE MED. U. A. N. L.



P. 463.

Lith. Roussaux et Grandjean, n. du Jacquinet, 12, Paris.

Pour compléter la description du spectroscope, il nous reste à décrire l'ouverture par laquelle la lumière de la flamme G entre dans la lunette B. Elle consiste en une fente verticale étroite, qu'on ouvre plus ou moins en faisant marcher, à l'aide d'une vis de pression *v*, la pièce *a* (fig. 368), qui est mobile. Lorsqu'on veut observer simultanément deux spectres pour les comparer entre eux, on place à la partie supérieure de la fente un petit prisme *i* dont l'angle réfringent est de 60 degrés. Les rayons partis d'une flamme H tombent normalement sur une des faces du prisme, éprouvent la réflexion totale sur la deuxième, et sortent perpendiculairement à la troisième, entrent dans la lunette suivant une direction parallèle à son axe. Puis une deuxième flamme G envoie un second faisceau, un peu au-dessous du petit prisme, dans la même direction que le premier; et ces deux faisceaux traversant le prisme P du spectroscope (fig. 366), vont former deux spectres horizontaux parallèles, qu'on regarde avec la lunette A. Dans les flammes G et H sont des fils de platine *e, e'*. Ces fils ont été trempés d'avance dans les dissolutions salines des métaux sur lesquels on veut expérimenter; ou bien, ils supportent de petits cristaux de ces sels, et c'est en se vaporisant que les métaux modifient la lumière transmise et donnent naissance à telle ou telle raie.

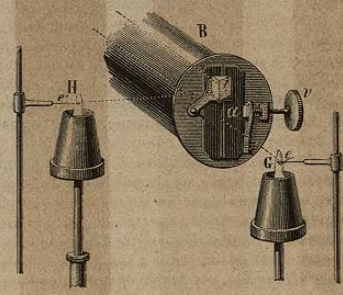


Fig. 368.

Chacune des flammes H et G est un bec de gaz d'éclairage. L'appareil qui les alimente est connu sous le nom de *lampe de Bunsen*. Le gaz arrive par la tige, qui est creuse. A la partie inférieure de celle-ci est un orifice latéral destiné à laisser entrer l'air qui doit brûler le gaz. Cet orifice se ferme plus ou moins au moyen d'un petit diaphragme tournant, qui fait l'office de régulateur. Si on laisse entrer beaucoup d'air, le gaz brûle avec éclat et fournit un spectre propre, ce qu'il importe d'éviter. Si on laisse passer moins d'air, la flamme perd de son éclat et bleuit. Alors elle ne donne plus de spectre; mais dès qu'on y introduit un sel métallique à l'état de dissolution, ou à l'état solide, le spectre du métal apparaît.

* 496. **Expériences avec le spectroscope.** — La planche coloriée ci-jointe montre quelques spectres observés à l'aide du spectroscope. La figure I représente le spectre solaire.

La figure II est le spectre du potassium. Il est continu, c'est-à-dire contient toutes les couleurs du spectre solaire; de plus, il est caractérisé par deux raies brillantes, l'une dans l'extrême rouge, et correspondant à la raie A de Fraunhofer; l'autre dans l'extrême violet.

La figure III donne le spectre du sodium. Ce spectre ne contient ni rouge, ni orangé, ni vert, ni bleu, ni violet; et il est caractérisé par une raie jaune très-brillante, qui tient exactement la place de la raie D de Fraunhofer. Le sodium est de tous les métaux celui qui possède la plus grande sensibilité spectrale. En effet, on a constaté que $\frac{1}{3\ 000\ 000\ 000}$ de gramme de soude suffit pour faire apparaître la raie jaune du sodium. Aussi est-il difficile d'éviter cette raie. Un peu de poussière soulevée dans un appartement la fait naître; ce qui montre combien le sodium est abondamment répandu dans la nature.

Les figures IV et V montrent les spectres du césium et du rubidium, métaux nouveaux découverts par MM. Kirchhoff et Bunsen au moyen de l'analyse.

spectrale. Le premier se distingue par deux raies bleues; le second par deux raies rouges très-éclatantes, et par deux raies violettes moins intenses. Un troisième métal, le thallium, a été trouvé à l'aide de la même méthode par M. Crookes, en Angleterre, et, en même temps, par M. Lamy, en France. Le thallium est caractérisé par une raie verte unique.

La méthode spectrale s'applique très-bien à tous les métaux alcalins. Pour les métaux des autres sections, les expériences deviennent plus difficiles. Ces métaux ne se vaporisant qu'à des températures très-élevées, il faut avoir recours à une source de chaleur plus intense que celle qu'on obtient avec la lampe de Bunsen. C'est de l'étincelle électrique ou de l'arc voltaïque qu'on fait alors usage. On obtient ainsi des spectres parfaitement déterminés; mais encore ici la méthode devient complexe par le grand nombre de raies brillantes qu'on obtient. Avec le fer, par exemple, on a 70 raies, et plusieurs autres métaux en donnent à peu près autant. On conçoit que cette multiplicité de raies présente de grandes difficultés pour distinguer certains métaux entre eux.

* 497. **Couleurs des objets vus au travers d'un prisme.** — Lorsqu'un corps est vu au travers d'un prisme, les portions de son contour parallèles aux arêtes du prisme paraissent colorées des teintes du spectre. Ce phénomène s'explique par l'inégale réfrangibilité des rayons lumineux réfléchis par le corps. Si l'on regarde, par exemple, une bande très-étroite de papier blanc collée sur un carton noir, avec un prisme dont les arêtes lui soient parallèles, cette bande paraît colorée de toutes les couleurs du spectre, et c'est la teinte violette qui est la plus déviée vers le sommet du prisme. Dans cette expérience, la lumière blanche réfléchie par la bande de papier est décomposée à son passage dans le prisme, et la teinte violette, qui est plus réfrangible, est déviée davantage, ce qui la fait paraître plus relevée.

Si la bande de papier, au lieu d'être très-étroite, a une certaine largeur, toute sa partie moyenne reste blanche; ses bords parallèles aux arêtes du prisme sont seuls colorés, les plus rapprochés du sommet en violet mélangé de bleu et d'indigo, et les plus rapprochés de la base en rouge mélangé d'orangé et de jaune. Pour expliquer ce phénomène, il faut concevoir la bande de papier partagée en bandes parallèles très-étroites. Chacune de celles-ci donnera, comme dans le premier cas, un spectre complet. Or, le deuxième spectre étant un peu plus bas que le premier, le troisième plus bas que le deuxième, et ainsi de suite, il en résulte une superposition successive de toutes les couleurs simples, qui produit du blanc, excepté vers les bords, où la superposition n'est pas complète, et où le violet d'un côté, et le rouge de l'autre, restent isolés.

Le prisme donne le moyen d'analyser la couleur d'un corps. Pour cela, on découpe de celui-ci une bandelette étroite qu'on fixe sur un fond noir et qu'on éclaire fortement. En la regardant alors, à la distance d'un à deux mètres, avec un prisme, la lumière réfléchie est décomposée dans ses éléments, et l'on reconnaît quelles sont les couleurs simples qui composent la couleur propre du corps. On a constaté ainsi que la couleur de tous les corps est composée. Les pétales des fleurs, par exemple, donnent toujours un spectre nuancé de plusieurs des couleurs du spectre solaire.

* 498. **Aberration de réfrangibilité.** — Les diverses lentilles décrites précédemment (477) ont l'inconvénient, lorsqu'elles sont à une certaine distance de l'œil, de donner des images dont les contours sont irisés. Ce défaut, qui est surtout sensible dans les lentilles convergentes, est dû à l'inégale réfrangibilité des couleurs simples (488), et se désigne sous le nom d'*aberration de réfrangibilité*. En effet, les lentilles pouvant être comparées à une suite de prismes à faces infiniment petites, réunis par leurs bases, elles ne réfractent pas seulement la lumière, mais la décomposent à la manière du prisme. Il résulte de cette dispersion que les lentilles ont réellement sept foyers distincts, un pour chaque couleur du spectre. Dans les lentilles convergentes, par exemple, les rayons rouges, qui sont les moins réfrangibles, vont former leur foyer en un point τ , placé sur l'axe de la lentille (fig. 369), tandis que les rayons violets, se réfractant davantage, vont

concourir en un point τ , plus rapproché. Entre ces deux limites se forment les foyers orangé, jaune, vert, bleu et indigo. L'aberration de réfrangibilité est d'autant plus sensible, que les lentilles sont plus convexes et que le point d'incidence des rayons qui les traversent est plus éloigné de l'axe; car alors les faces d'incidence et d'émergence sont plus inclinées entre elles. Il nous reste à faire connaître comment on corrige l'aberration de réfrangibilité dans les instruments d'optique.

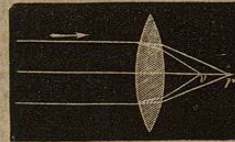


Fig. 369.

* 499. **Achromatisme.** — En combinant des prismes dont les angles réfringents sont différents (470), et qui sont formés de substances inégalement dispersives (487), on est parvenu à réfracter la lumière blanche sans la décomposer. Le même résultat s'obtient avec des lentilles de substances différentes, dont les courbures sont convenablement combinées. Les contours des objets vus au travers des prismes ou des lentilles ainsi formés ne paraissent plus irisés, on dit que ces prismes et ces lentilles sont *achromatiques*, et l'on nomme *achromatisme*, le phénomène de la réfraction de la lumière sans dispersion.

En observant le phénomène de la dispersion des couleurs avec des prismes d'eau, d'essence de térébenthine, de crown-glass, Newton avait été conduit à admettre que la dispersion était proportionnelle à la réfraction. Il en avait conclu qu'il ne pouvait y avoir réfraction sans dispersion, et par conséquent que l'achromatisme était impossible. Près d'un demi-siècle s'écoula avant qu'on reconnût l'erreur de Newton. Hall, savant anglais, construisit le premier, en 1733, des lunettes achromatiques, mais il ne publia pas sa découverte. C'est Dollond, opticien à Londres, qui, en 1757, montra qu'en juxtaposant deux lentilles, l'une biconvexe, de crown-glass, et l'autre concave-convexe, de flint (fig. 370), on obtenait une lentille sensiblement achromatique.

Pour expliquer ce résultat, soient deux prismes BCF et CFD juxtaposés et tournés en sens contraire, comme le montre la figure 371. Si l'on suppose d'abord que ces prismes soient de même substance, l'angle réfringent CFD du second étant plus petit que l'angle réfringent BCF du premier, les deux prismes produiraient le même effet qu'un prisme unique BAF; c'est-à-dire que la lumière blanche qui les traverse ne sera pas seulement déviée, mais décomposée. Au contraire, si le premier prisme BCF étant de crown, le second est de flint, on peut détruire la dispersion tout en conservant la réfraction. En effet, le flint étant plus dispersif que le crown, et la dispersion produite par un prisme diminuant avec



Fig. 370.

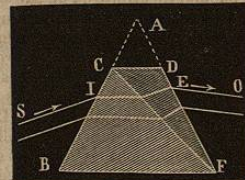


Fig. 371.

l'angle réfringent du prisme (487), il en résulte qu'en diminuant convenablement l'angle réfringent CFD du prisme de flint, par rapport à l'angle réfringent BCF du prisme de crown, on arrive à rendre égal le pouvoir dispersif de ces prismes; et comme, d'après leur position, la dispersion a lieu en sens contraire, elle est compensée, c'est-à-dire que les rayons émergents EO sont sensiblement ramenés au parallélisme, et donnent, par conséquent, de la lumière blanche. Toutefois le

rapport des angles BCF et CFD, qui convient au parallélisme des rayons rouges et des rayons violets, par exemple, n'étant pas celui qui convient aux rayons intermédiaires, il en résulte qu'avec deux prismes on ne peut en réalité achromatiser que deux des rayons du spectre. Pour obtenir l'achromatisme parfait, il faudrait sept prismes de substances inégalement dispersives et dont les angles réfringents seraient convenablement déterminés.

Quant à la réfraction, elle n'est pas corrigée en même temps que la dispersion, car il faudrait pour cela que la puissance réfractive des corps variât, comme l'avait supposé Newton, dans le même rapport que leur pouvoir dispersif, ce qui n'a pas lieu. Par conséquent, le rayon émergent EO ne sort pas parallèlement au rayon incident SI, et il y a déviation sans décomposition sensible.

Les lentilles achromatiques se forment de deux lentilles de substances inégalement dispersives. L'une A, de flint, est concave-convexe divergente (fig. 370); l'autre, B, de crown-glass, est biconvexe, et l'une de ses faces peut coïncider exactement avec la face concave de la première. Avec les lentilles, comme avec les prismes, il faudrait sept verres pour obtenir l'achromatisme parfait; mais deux suffisent dans tous les instruments d'optique, et on leur donne la courbure nécessaire pour achromatiser les rayons rouges et les rayons jaunes.

* 500. **Absorption de la lumière par les milieux transparents.** — On ne connaît pas de substance d'une transparence parfaite. Le verre, l'eau, l'air même, éteignent graduellement la lumière qui les traverse, et, sous une épaisseur suffisante, ces milieux peuvent l'affaiblir assez pour qu'elle n'agisse plus sur la rétine. On observe, en effet, qu'un grand nombre d'étoiles qui ne sont pas visibles, même par le ciel le plus pur, quand on est dans les plaines, le deviennent quand on s'élève sur les hautes montagnes.

Cette perte graduelle qu'éprouve la lumière en traversant les milieux diaphanes se nomme *absorption*; elle a pour cause la réflexion que subit la lumière sur les molécules des corps transparents. Si tous les rayons simples étaient également transmissibles à travers les milieux diaphanes, ceux-ci seraient incolores. Or, il n'en est jamais ainsi: ce qui montre que, comme les corps diathermanes ne se laissent pas traverser également par les différents rayons calorifiques (397), de même les corps diaphanes laissent passer plus facilement certains rayons lumineux que d'autres. Le milieu prend alors la couleur pour laquelle il est le plus diaphane. C'est pour cette raison que, sous une grande épaisseur, l'air paraît bleu; une lame de verre épaisse est verte. Le verre coloré en rouge par le protoxyde de cuivre ne laisse passer que les rayons rouges, et absorbe tous les autres, même sous une petite épaisseur.

Du reste, pour plusieurs milieux transparents, la coloration varie avec l'épaisseur. Par exemple, le perchlorure de chrome, qui est vert sous une faible épaisseur, devient rouge foncé sous une épaisseur plus grande. On nomme *polychromiques* les substances dont la teinte varie ainsi avec l'épaisseur. On explique ce phénomène en admettant que l'absorption n'est pas la même pour les sept couleurs simples.

C'est par un effet d'absorption que les rayons du soleil sont moins intenses quand cet astre est à l'horizon que lorsqu'il est au zénith, car l'épaisseur de l'atmosphère est alors bien plus considérable.

CHAPITRE V.

INSTRUMENTS D'OPTIQUE.

501. **Divers instruments d'optique.** — On nomme *instruments d'optique*, des combinaisons de lentilles, ou de lentilles et de miroirs, qui peuvent se diviser en trois groupes, suivant les usages auxquels on les destine. 1° Les instruments qui ont pour objet d'amplifier les images des corps que leurs petites dimensions ne permettent pas d'observer à l'œil nu: ce sont les *microscopes*. 2° Les instruments qui servent à observer les astres ou les objets très-éloignés: ce sont les *télescopes* et les *lunettes*. 3° Les instruments propres à projeter, sur un écran, des images réduites ou amplifiées qui peuvent être utilisées dans l'art du dessin, ou montrées à de nombreux observateurs; tels sont: la *chambre claire*, la *chambre obscure*, le *daguerrotypage*, la *lanterne magique*, la *fantasmagorie*, le *mégascope*, le *microscope solaire* et le *microscope photo-électrique*. Les deux premiers groupes ne donnent que des images virtuelles, et le dernier que des images réelles, excepté la *chambre claire*.

INSTRUMENTS QUI GROSSISSENT LES OBJETS.

502. **Microscope simple.** — Les *microscopes*, comme on l'a déjà dit ci-dessus, sont des instruments destinés à augmenter la puissance de la vue en grossissant les objets. On en distingue deux: le *microscope simple* et le *microscope composé*.

Le *microscope simple*, ou *loupe*, est simplement une lentille convergente à court foyer, avec laquelle on regarde des objets placés en deçà de son foyer principal. Quoique nous ayons déjà donné la construction de l'image ainsi obtenue (481), nous la répétons ici, pour y ajouter quelques détails.

L'objet AB, que l'on veut observer, étant placé entre la lentille et son foyer principal F (fig. 378), on mène les axes secondaires AO et BO; puis, des points A et B, des rayons parallèles à l'axe. Or, on a vu (478, 2°) qu'à leur sortie de la lentille, ces rayons vont passer par le second foyer F', et que, sortant divergents par rapport aux axes secondaires, leurs prolongements vont couper ceux-ci en des points A' et B', qui sont les foyers virtuels des points A et B. On a donc en A'B' l'image droite, virtuelle et amplifiée de l'objet AB.