Q'I'. Nous allons démontrer que les points n et n' sont les *points nodaux*, ci-dessus définis.

Cherchons, en effet, quel serait le foyer conjugué par rapport à la surface réfringente OI d'un point lumineux qui serait placé en C. Le rayon, dirigé suivant l'axe principal OC, traverse la surface sans déviation : donc le foyer conjugué de C est sur cette ligne. Il suffit d'avoir un autre rayon réfracté, correspondant à un rayon incident émané de C. Or, d'après le principe *du retour inverse des rayons*, puisque IC est, par construction, la direction de réfraction qui correspond à la direction d'incidence QI, inversement le rayon réfracté dans l'air qui correspond au rayon incident CI dans le verre, est précisément IQ. Ce rayon coupe, par son prolongement, l'axe principal en n : donc n est le foyer conjugué de C par rapport à la surface OI.

On démontrerait de la même manière que n' est le foyer conjugué de C par rapport à la surface réfringente O'I'. Donc les deux points n et n' sont des points invariables, comme le centre optique lui-même : on pourrait d'ailleurs les déterminer à l'aide des équations aux foyers conjugués [a] et [b] (2°).

5° *Propriété des points nodaux.* — Tout rayon, tel que QII'Q', qui, dans son passage à travers la lentille, coupe l'axe au centre optique, est un rayon qui sort parallèlement à lui-même : cela est une propriété du centre optique. En outre, ce rayon est tel, que les prolongements de ses deux parties extérieures passent par les deux *points nodaux* : cela est la propriété caractéristique des *points nodaux*.

6° *Construction du rayon qui traverse la lentille sans déviation.* — Le rayon, tel que QII'Q', joue par rapport aux points lumineux tels que Q', extérieurs à l'axe principal, le même rôle dans le cas des lentilles épaisses que l'axe secondaire dans le cas des lentilles minces. C'est sur ce *rayon sans déviation* que doit se trouver le foyer conjugué Q' : c'est ce rayon qu'il faut savoir tout d'abord construire.

Cette construction se fera aisément à l'aide du centre optique C et des points nodaux. On commencera par placer les points C, n et n' sur l'axe principal, ce qui sera facile, étant donnés la définition du point C et les équations aux foyers conjugués [a] et [b]. Joignons le point Q au premier point nodal n : la direction Qn est évidemment celle du rayon incident ; joignons le point I au point C, et prolongeons jusqu'à l'intersection I' avec la deuxième face de la lentille : la direction ICI' est évidemment le trajet du rayon dans l'épaisseur de la lentille ; enfin, joignons n'I' et prolongeons à l'extérieur ; cette direction I'Q' est évidemment le rayon émergent. C'est sur cette direction que doit se trouver le foyer conjugué du point Q.

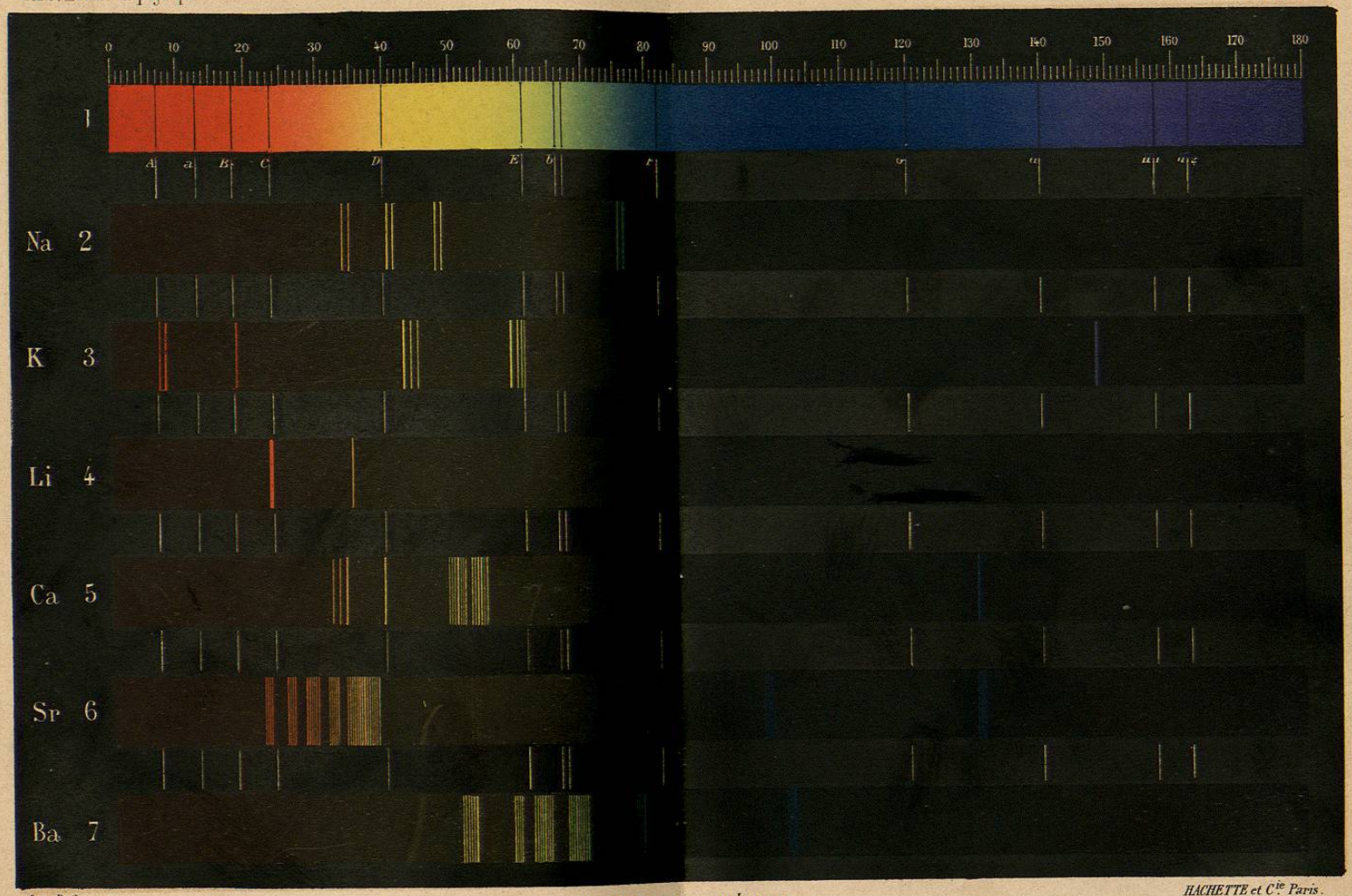
CHAPITRE VII

CHROMATIQUE

—

DISPERSION ET ACHROMATISME.

475. 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 qui passe d'un milieu dans



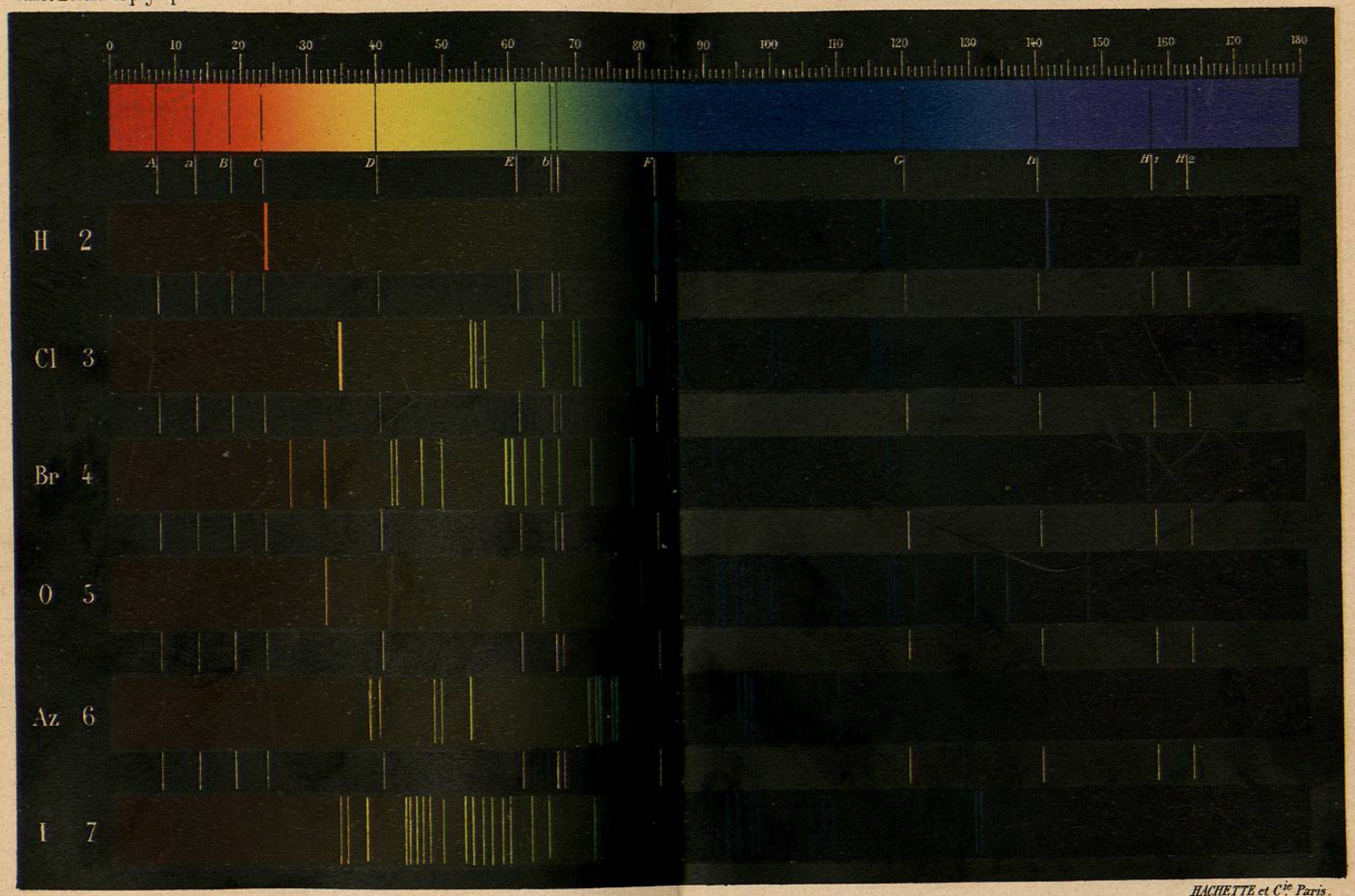
Imp. Dufrénoy.

HACHETTE et Cie Paris.

SPECTRES DES MÉTAUX

1 _ Spectre du Soleil

2	Spectre du Sodium	5	Spectre du Calcium
3	——— du Potassium	6	——— du Strontium
4	——— du Lithium	7	——— du Barium



Imp. Dufrenoy.

HACHETTE et Cie Paris.

SPECTRES DES MÉTALLOIDES

1 _ Spectre du Soleil

2 Spectre de l'Hydrogène
3 ___ du Chlore
4 ___ du Brôme

5 Spectre de l'Oxygène
6 ___ de l'Azote
7 ___ de l'Iode

un autre est la lumière *blanche*, provenant du soleil ou d'un corps solide incandescent, il n'y a pas seulement déviation, mais *décomposition* de cette lumière blanche *en plusieurs espèces de lumières* diversement colorées. Ce phénomène, découvert et étudié par Newton, est désigné sous le nom de *dispersion*.

1° *Expérience fondamentale.* — On reçoit dans une chambre obscure un faisceau solaire SA (fig. 540) à travers une petite ou-

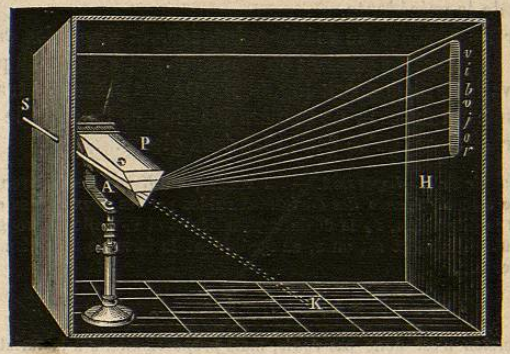


Fig. 540.

verture 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 dans un plan vertical, et, au lieu d'une image ronde et incolore, on reçoit sur un écran éloigné une image H, de même dimension que celle-ci dans le sens horizontal, mais oblongue dans le sens vertical, et *colorée des teintes de l'arc-en-ciel*. Newton a donné à cette image le nom de *spectre solaire*. Il existe, en réalité, dans le spectre une infinité de teintes; mais on n'en distingue nettement que sept principales, qui se succèdent dans l'ordre suivant :

violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge,

en commençant par la teinte la plus déviée (fig. 1 des planches coloriées I et II). Ces couleurs n'occupent pas toutes la même étendue dans le spectre; c'est le violet qui est le plus étalé, et l'orangé qui l'est le moins.

2° *Dispersion.* — Avec des prismes transparents de différentes substances, ou avec des prismes de verre creux, remplis de divers

liquides, on obtient des spectres formés *des mêmes couleurs dans le même ordre;* mais, à angle réfringent égal, la longueur du spectre varie avec la substance du prisme : c'est ce que l'on constate à l'aide du polyprisme, décrit précédemment. Plus une substance donne d'étendue au spectre, plus elle est *dispersive*, et *sa dispersion* se mesure *par la différence des indices de réfraction des rayons extrêmes du spectre.* Pour le flint-glass la *dispersion* est 0,0433; pour le crown-glass, elle est 0,0246, c'est-à-dire environ moitié de la précédente.

Pour les prismes de même substance, *la dispersion croît avec l'angle réfringent* du prisme; on vérifie ce fait à l'aide du prisme à angle variable déjà décrit (fig. 505) . On fait passer au travers de ce prisme un faisceau de lumière blanche, et l'on voit le spectre s'étaler à mesure qu'on écarte les deux glaces.

3° *Formule de la dispersion.* — En réalité, la *dispersion* proprement dite est égale à la *différence des déviations* subies par les deux rayons extrêmes. Soient δ la dispersion, D_v la déviation du violet et D_r celle du rouge par un prisme d'indices n_v et n_r, on a, en appliquant la formule des prismes de petite ouverture,

$$\delta = D_v - D_r = A\,(n_v - 1) - A\,(n_r - 1) = A\,(n_v - n_r).$$

La dispersion n'est donc pas *égale*, mais *proportionnelle* à la variation d'indices pour les couleurs extrêmes.

Cette formule montre aussi que *la dispersion* est *proportionnelle à l'angle réfringent* du prisme, et, par suite, que *l'étendue du spectre* est *proportionnelle au pouvoir dispersif* de la substance réfringente.

4° *Spectres des lumières artificielles.* — Dans les spectres des lumières artificielles, on n'observe pas d'autres couleurs que celles du spectre solaire, et leur ordre est le même; mais, en général, il en manque quelques-unes. Leur intensité relative est également très modifiée. La nuance qui domine dans une flamme artificielle est aussi 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.

474. **Production d'un spectre pur. — Règle de Newton.** — Un spectre est d'autant plus pur que les sept faisceaux colorés sont mieux séparés. On obtient un spectre assez pur en recevant les rayons solaires par une fente parallèle à l'arête réfringente du prisme, en plaçant celui-ci très près de la fente et l'écran assez loin, à une distance d'environ 5 ou 6 mètres.

On obtient une épuration du spectre plus complète en appliquant la *règle de Newton. La lumière étant reçue par une fente mince, parallèle à l'arête réfringente du prisme, on interpose sur le trajet des rayons incidents, en deçà ou au delà du prisme, une lentille*

achromatique, à une distance de la fente égale au double de la distance focale principale; on place l'écran de l'autre côté de la lentille, et à la même distance 2 f ; enfin, on a soin d'orienter le prisme dans la position de la déviation minimum.

475. **Les couleurs du spectre sont simples et inégalement réfrangibles.** — Si l'on isole une des couleurs du spectre en interceptant les autres au moyen d'un écran E (fig. 541), et qu'on la fasse passer à travers un second prisme B, on observe encore une déviation, mais il n'y a plus de *dispersion*, la lumière garde iden-

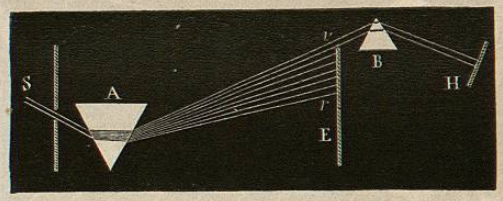


Fig. 541.

tiquement la même couleur. On en conclut 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. Il est évident, en effet, que la couleur violette, qui est la plus déviée vers la base du prisme (fig. 540), est aussi la plus réfrangible, et que la couleur rouge, qui est la moins déviée, est la moins réfrangible. Mais on peut démontrer directement l'inégale réfrangibilité des couleurs simples par un grand nombre d'expériences.

Première expérience. — On colle sur un carton noir, l'une à la suite de l'autre, deux bandes étroites de papier, l'une rouge, l'autre violette; puis on les regarde à travers un prisme. On les voit déplacées toutes les deux, mais inégalement : la bande rouge moins que la violette; donc les rayons rouges sont les moins réfractés.

Deuxième expérience : Prismes croisés. — Sur un premier prisme A (fig. 542), disposé horizontalement, on reçoit un faisceau de lumière blanche S, qui va former un spectre vertical *rv* sur un écran éloigné. Si l'on place alors verticalement un second prisme B derrière le premier, de manière qu'il soit lui-même traversé par le faisceau réfracté, le spectre est déplacé sur le côté du prisme vertical; mais, au lieu de l'être parallèlement à lui-même, comme

cela aurait lieu si toutes les couleurs du spectre étaient réfractées également, il est rejeté obliquement en $r'v'$: donc, en allant du rouge au violet, les couleurs sont de plus en plus réfrangibles.

Ces diverses expériences montrent que l'indice de réfraction varie pour chaque couleur et même pour les rayons d'une même

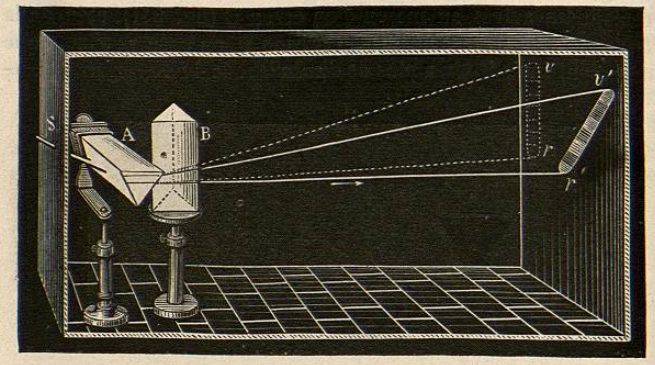


Fig. 542.

couleur. 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 la détermination des indices de réfraction (451), on est convenu de prendre pour indice d'une substance l'indice moyen du jaune dans le spectre donné par cette substance.

476. **Recomposition de la lumière blanche.** — Après avoir décomposé la lumière blanche, il restait à vérifier qu'on pouvait la recomposer par la superposition des différents rayons colorés. Cette recomposition s'opère par plusieurs procédés.

1° *Prismes inverses.* — Si l'on reçoit le spectre sur un second

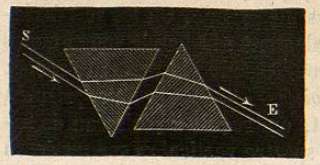


Fig. 543.

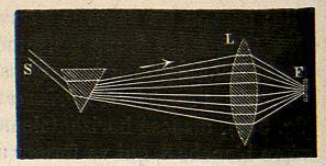


Fig. 544.

prisme de même angle réfringent que le premier, mais tourné en sens contraire, comme le montre la figure 543, le second détruit

la dispersion du premier, et l'on obtient un faisceau émergent E parallèle au faisceau incident et *incolore*. Tout se passe comme si le faisceau incident avait traversé une lame à faces parallèles, formée par la juxtaposition des deux prismes.

2° *Lentille convergente.* — On reçoit le spectre sur une lentille biconvexe (fig. 544) 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° *Miroir concave.* — On fait tomber le spectre sur un miroir concave (fig. 545); en plaçant au foyer un écran de verre dépoli, on recueille une image blanche.

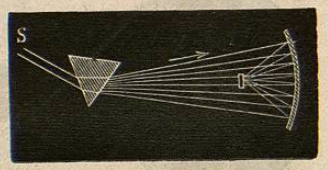


Fig. 545.

4° *Sept miroirs plans.* — On reçoit les sept couleurs du spectre respectivement sur sept miroirs de verre, à faces bien parallèles, et pouvant s'incliner en tous sens (fig. 546). En dirigeant convenablement ces miroirs, on fait d'abord tomber, sur le plafond par exemple, les sept faisceaux réfléchis, qui y don-

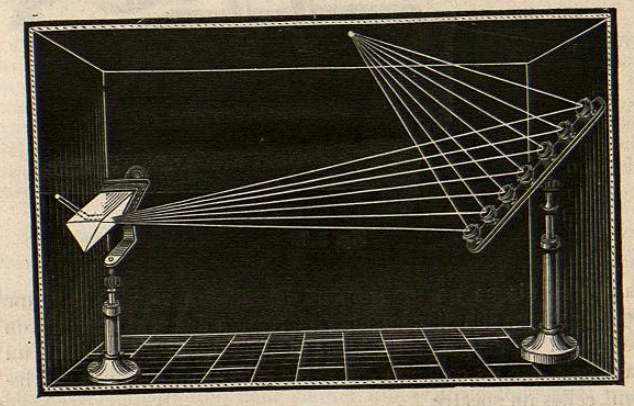


Fig. 546.

nent sept images distinctes, rouge, orangée, jaune, etc.; puis, dirigeant les miroirs de manière que les sept images viennent se superposer exactement, on obtient une image unique, qui est blanche.

5° *Disque de Newton.* — Enfin, on peut produire la sensation de la lumière blanche au moyen du disque coloré de Newton. C'est un disque de carton de 30 centimètres de diamètre environ; le centre et les bords sont noirs, 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. 547). En impri-

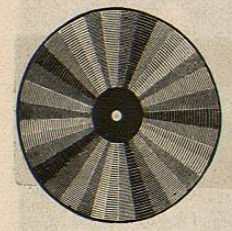


Fig. 547

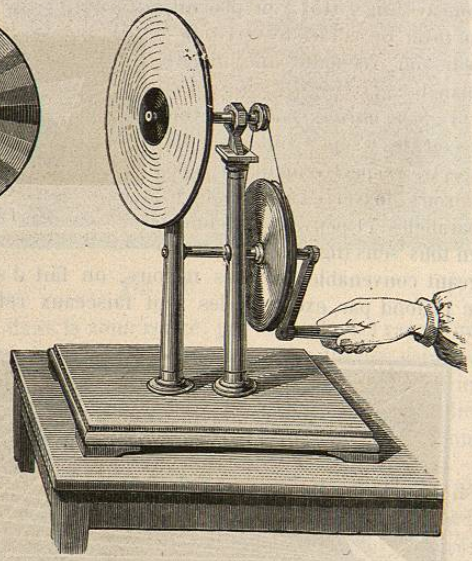


Fig. 548.

mant à ce disque un mouvement de rotation rapide, la rétine reçoit, presque simultanément, l'impression des sept couleurs du spectre, et le disque paraît blanc (fig. 548), ou du moins d'un blanc gris, car les couleurs qui le recouvrent ne sont pas exactement celles du spectre.

477. **Théorie de la composition de la lumière et de la couleur des corps : Idées de Newton.** — De ces diverses expériences Newton tira deux conclusions :

1° La lumière blanche n'est pas homogène, mais formée de sept lumières *simples* et *inégalement réfrangibles;* c'est ce qu'il nomma les couleurs *simples* ou *primitives.*

2° C'est en vertu de leur différence de réfrangibilité que ces couleurs simples se séparent en traversant le prisme.

D'après Newton, les corps décomposeraient aussi la lumière par réflexion, et leur couleur propre ne dépendrait que de leur pouvoir réflecteur pour les différentes couleurs simples. Ceux qui les réfléchissent toutes, dans les proportions qu'elles ont dans le spectre, paraissent *blancs;* ceux qui les absorbent toutes sont *noirs.* Entre ces deux limites extrêmes se présentent une infinité de nuances, déterminées par la proportion des rayons simples réfléchis ou éteints par chaque corps. Par conséquent, les corps ne seraient pas colorés par eux-mêmes, mais par l'espèce de lumière qu'ils réfléchissent.

Cette hypothèse paraît confirmée par l'expérience suivante : 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.

Analyse physique des couleurs. — On découpe une bandelette étroite du corps dont on veut analyser la couleur, on la fixe sur un fond noir et on l'éclaire fortement. En regardant, à la distance d'un à deux mètres, avec un prisme, la lumière réfléchie ou diffusée par la bandelette, on la décompose, et l'on analyse 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.

478. **Couleurs complémentaires.** — Newton a nommé *couleurs complémentaires* celles qui forment du blanc par leur superposition. Le vert est complémentaire du rouge, le bleu de l'orangé, le violet du jaune. Toute couleur a 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 dernières couleurs doit donc donner une couleur composée, complémentaire de la première. Les couleurs complémentaires peuvent donc être elles-mêmes simples ou composées.

479. **Constitution du spectre solaire : Spectre lumineux, calorifique et chimique.** — Newton n'a connu du spectre que la partie colorée, la partie visible. Or la radiation qui constitue le spectre possède beaucoup plus d'étendue, et se compose en réalité de