Nous avons dit (§ 328) que si la mer se mettait en équilibre à chaque instant sous l'action de la lune, sa surface prendrait la forme indiquée par la ligne ponctuée *mm* (*fig.* 343); c'est-à-dire que la lune ferait gonfler cette surface de deux côtés opposés, de sorte qu'il se produirait sur le globe terrestre comme deux protubérances liquides situées aux extrémités du diamètre de la terre qui est dirigé vers la lune. Mais la terre, en vertu de son mouvement de rotation, tend à entraîner ces protubérances, et la lune tend en même temps à les reproduire toujours dans la position qui vient d'être indiquée; ces circonstances, combinées avec les frottements que les eaux éprouvent dans leurs mouvements, font que les protubérances liquides dont il s'agit se déplacent continuellement sur le globe terrestre, de manière à suivre la lune dans son mouvement apparent diurne, mais en restant toujours *en retard* d'une certaine quantité par rapport à la position normale que la lune tend à leur faire prendre à chaque instant. Ces protubérances seront, par exemple, en A et en B (*fig.* 344), la lune étant en L (la flèche indique le sens du mouve-

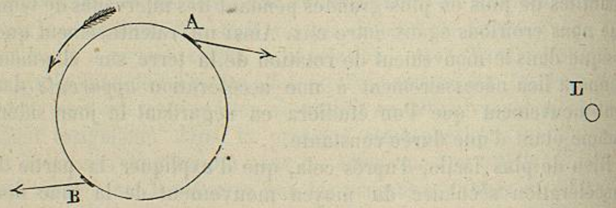

Fig. 344

ment de rotation de la terre). La tendance de la lune à les ramener constamment dans la position normale indiquée par la figure 344, équivaut évidemment aux actions de deux forces, l'une attractive appliquée à la protubérance A, l'autre répulsive appliquée à la protubérance B; et ces deux forces, dont l'effet se transmet à la masse entière du globe terrestre, produisent en définitive une diminution continuelle dans la vitesse de rotation de ce globe. En calculant la grandeur du ralentissement que cette cause peut occasionner dans le mouvement de rotation de la terre, on trouve qu'il y a là tout ce qu'il faut pour rendre compte de la partie de l'accélération séculaire du moyen mouvement de la lune qu'il s'agit d'expliquer.

§ 333. **Influence de la rotation de la terre sur les mouvements apparents des corps situés à sa surface.** — Nous avons vu que la rotation de la terre a une influence notable sur l'intensité et la direction de la pesanteur, en donnant lieu au développement des forces centrifuges, qui, en chaque point de la surface du globe, se combinent avec l'attraction exercée par la masse entière de la terre sur les corps qui s'y trouvent. Mais cette influence de la rotation de la terre se fait sentir encore d'une autre manière; les mouvements des corps qui nous avoisinent ne s'effectuent pas, par rapport à nous, exactement de même que si la terre ne tournait pas autour de son axe. Il est vrai qu'il n'y a généralement qu'une très-faible différence entre les mouvements tels que nous les voyons, et ceux qui se produiraient dans les mêmes circonstances, si la terre était immobile; en sorte que nous n'apercevons même pas cette différence, et que, habituellement, les mouvements que nous observons autour de nous ne nous suggèrent pas l'idée de la mobilité du sol sur lequel nous nous appuyons. Mais il y a des cas dans lesquels la différence dont nous parlons devient très-sensible. Nous allons faire connaître les expériences à l'aide desquelles on est parvenu à la manifester d'une manière incontestable.

Si la terre était immobile, un corps qu'on laisserait tomber d'une certaine hauteur, près de sa surface, se mouvrait exactement suivant la verticale menée par son point de départ, et viendrait rencontrer le sol au pied de cette verticale. Le mouvement de rotation de la terre sur elle-même fait qu'il n'en est pas rigoureusement ainsi; le corps qu'on abandonne à l'action de la pesanteur, sans lui donner de vitesse initiale, ne suit pas la verticale de son point de départ, et ne tombe pas sur le sol au point où cette ligne vient le percer.

En effet, le corps étant en A (*fig.* 345) à l'instant où on l'abandonne, se trouve réellement animé d'une certaine vitesse, qui est celle qu'il possédait en arrivant au point A, en vertu de la rotation de la terre; ce corps est donc dans les mêmes conditions que s'il était lancé horizontalement, à partir du point A, et, en conséquence, il tombe en décrivant une ligne courbe AB. Pendant qu'il se meut ainsi, la terre continue à tourner; la verticale AC, menée par le point de départ du corps, se déplace sans cesser de se diriger vers le point O. Si cette verticale suivait le corps de manière à passer constamment par la position qu'il occupe sur la ligne courbe AB, un observateur placé sur la terre et emporté par elle dans son mouvement de rotation, croirait que le corps se meut réellement suivant la ligne AC, puisqu'à chaque instant il le verrait en un des points de cette ligne. Mais il n'en est pas ainsi : nous allons reconnaître sans peine qu'à l'instant où le corps vient rencontrer la surface de la terre en B, la verticale AC de son point de départ est restée en arrière par rapport à lui, et a pris une position telle que A'C'.

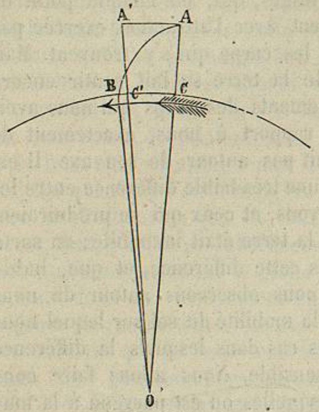

Fig. 345.

Reportons-nous pour cela à ce que nous avons démontré relativement au mouvement d'un corps qui est soumis à l'action d'une force constamment dirigée vers un même point (§ 308), et nous verrons que le mouvement du corps pesant le long de la ligne courbe AB, sous l'action d'une force constamment dirigée vers le point O, doit s'effectuer conformément à la loi des aires ; les aires des secteurs décrits dans des temps égaux successifs, par la ligne droite qui joint le mobile au point O, doivent être égales entre elles. Si le corps n'avait pas été abandonné au point A, il se serait mû suivant l'arc de cercle AA', au lieu de tomber en parcourant la ligne courbe AB ; ce mouvement se serait effectué en vertu de la même vitesse initiale en A, et n'aurait différé du mouvement suivant AB, qu'en ce que la force appliquée au corps aurait été en grande partie détruite par l'obstacle qui aurait maintenu ce corps à une distance invariable de la surface de la terre. Mais, que la force qui agit sur le corps ait telle ou telle valeur, peu importe (commencement du § 309) ; pourvu que cette force soit toujours dirigée vers le point O, les aires décrites en temps égaux autour de ce point O sont toujours égales entre elles ; et les valeurs de ces aires sont les mêmes dans les divers mouvements que le corps peut prendre, en partant du point A, avec une même vitesse initiale, et sous l'action de forces d'intensités différentes, mais passant toujours par le point O. L'aire du secteur ABO, décrit autour du point O, dans le cas où le corps est abandonné à l'action de la pesanteur, doit donc être égale à l'aire du secteur AA'O, qui serait décrit dans le même temps autour de ce point, dans le cas où le corps aurait été maintenu à la hauteur où il se trouvait primitivement : or, l'égalité de ces deux aires ne peut évidemment avoir lieu qu'autant que la ligne A'O rencontre la surface de la terre en un point C' compris entre C et B ; c'est-à-dire que le corps pesant, abandonné à lui-même au point A, vient tomber sur la terre en un point B, situé en avant de la position qu'occupe le pied de la verticale du point de départ à l'instant où le corps arrive en ce point B. Le mouvement de rotation de la terre s'effectuant de l'ouest à l'est, on voit que le corps qu'on laisse ainsi tomber d'une certaine hauteur, sans lui donner aucune impulsion, doit rencontrer le sol à l'est du pied de la verticale menée par son point de départ.

Cette déviation vers l'est, qu'éprouve un corps tombant d'une certaine hauteur sans vitesse initiale, ne peut devenir sensible qu'autant que la hauteur de chute est très-grande. M. Reich en a constaté l'existence réelle au moyen d'expériences faites à Freyberg, dans un puits de mine. La hauteur de chute était de $158^{m},5$. Il a trouvé, en prenant la moyenne des résultats fournis par un grand nombre d'expériences, que la déviation vers l'est avait une valeur de $0^{m},0283$. En calculant la grandeur que devrait avoir cette déviation, d'après les considérations théoriques qui viennent d'être développées, on trouve $0^{m},0276$. La différence qui existe entre ces deux nombres est bien faible, eu égard à la grande difficulté de faire exactement des expériences telles que celles dont il s'agit.

§ 334. Foucault est parvenu à manifester d'une manière encore plus complète l'influence de la rotation de la terre sur le mouvement apparent des corps situés à sa surface, dans deux cas distincts que nous allons faire connaître.

La première des expériences remarquables qu'il a imaginées dans ce but, consiste à observer les oscillations d'un pendule d'une grande longueur, disposé de manière à pouvoir osciller librement, et avec une facilité exactement la même dans tous les plans verticaux menés par son point de suspension. Un pareil pendule, écarté de sa position d'équilibre, puis abandonné à lui-même sans vitesse initiale, effectue une série d'oscillations dans le plan vertical mené par la position qu'on lui avait donnée d'abord. Si la terre était immobile, le pendule ne sortirait pas du plan vertical dans lequel il a commencé à osciller ; son plan d'oscillation, de direction absolument invariable dans l'espace, resterait constamment dirigé vers les mêmes objets situés dans le voisinage du lieu où il est installé. La rotation de la terre sur elle même fait que les choses ne se passent pas tout à fait ainsi.

Pour nous rendre compte de l'influence que ce mouvement de rotation exerce sur les oscillations du pendule, supposons d'abord que nous nous trouvions à l'un des pôles de la terre, au pôle boréal P, par exemple (*fig.* 346). Si le pendule est mis en mouvement comme nous l'avons dit, et que son point de suspension soit pris sur un corps indépendant de la terre et ne tournant pas comme elle autour de l'axe PP′, il est clair que le plan d'oscillation du pendule conservera une direction invariable dans l'espace; la terre tournera sous lui, sans qu'il participe à ce mouvement de rotation, et les plans des divers méridiens terrestres viendront successivement coïncider avec le plan vertical dans lequel s'effectuent ses oscillations. Un observateur, placé sur la terre, tournant avec elle autour de l'axe PP′, et n'ayant pas conscience de ce mouvement dont il est animé en commun avec la terre, regardera les méridiens terrestres comme immobiles, et croira en conséquence que le plan d'oscillation du pendule tourne autour de PP′, de manière à venir successivement se placer dans le plan de chacun de ces méridiens; la rotation de la terre s'effectuant de l'ouest à l'est, il verra le plan d'oscillation du pendule tourner de l'est à l'ouest, autour de la verticale menée par son point de suspension, et avec une vitesse angulaire précisément égale à celle que possède la terre dans son mouvement de rotation : si les oscillations du pendule ne s'arrêtaient pas, le plan dans lequel elles s'effectuent semblerait faire un tour entier autour de la verticale, dans l'espace d'un jour sidéral.

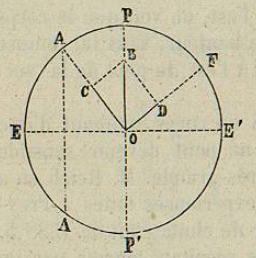

Fig. 346.

Les circonstances que nous venons d'indiquer ne pourraient pas se réaliser, en admettant même que nous puissions en effet nous transporter au pôle boréal de la terre, si la condition de suspendre le pendule à un corps indépendant de la terre était indispensable. Mais il n'en est rien. Si le fil du pendule est attaché par son extrémité supérieure à un corps lié à la terre et tournant par conséquent avec elle, le plan d'oscillation du pendule n'en conservera pas moins une direction invariable dans l'espace. Pour s'en assurer, il suffit d'attacher le fil du pendule à un corps que l'on puisse faire tourner à volonté sur lui-même, autour de la verticale passant par le point d'attache, pendant que le pendule oscille; en mettant ce pendule en mouvement, puis faisant tourner le corps auquel il est suspendu, soit dans un sens, soit dans l'autre, on voit que le plan d'oscillation ne change pas : le fil, et le corps

pesant qui le termine à sa partie inférieure, tournent l'un et l'autre sur eux-mêmes, comme on peut le constater en leur attachant de petits appendices de papier, sans qu'il en résulte aucune altération de la direction du plan d'oscillation. Le point de suspension du pendule au pôle P peut donc être pris sur un objet dépendant de la terre et tournant avec elle, sans que les circonstances indiquées plus haut cessent de se produire.

Au pôle austral P′, l'expérience faite de la même manière qu'au pôle boréal P, donnera des résultats analogues; seulement le plan d'oscillation du pendule semblera tourner en sens contraire, à cause de la position inverse de l'observateur : le mouvement de ce plan sera dirigé de gauche à droite au pôle boréal, et de droite à gauche au pôle austral.

En tout autre point de la surface de la terre, on ne voit pas aussi facilement ce qui doit se produire; mais il est clair que, si le plan d'oscillation du pendule semble tourner dans un sens au point A, il devra sembler tourner en sens contraire au point A′, situé symétriquement par rapport à l'équateur EE′. A l'équateur même, le plan d'oscillation devra sembler immobile, parce qu'il n'y a pas de raison pour qu'il semble tourner dans un sens plutôt que dans l'autre.

Pour analyser ce qui se passera au point A, nous nous appuierons sur la proposition suivante, qu'on démontre dans les cours de mécanique. Si l'on représente par la ligne OB l'angle dont la terre tourne autour de son axe dans un temps très-court, et que l'on construise le parallélogramme OCBD, ayant ses côtés OC, OD dirigés l'un suivant OA, l'autre perpendiculairement à OA, la rotation OB autour de l'axe PP′ équivaut à deux rotations simultanées, l'une autour de OA et représentée en grandeur par OC, l'autre autour de OF et représentée en grandeur par OD. Supposons donc que, pendant un temps très-court, la rotation OB de la terre, autour de son axe PP′, soit remplacée par les deux rotations OC autour de l'axe OA, et OD autour de l'axe OF, et voyons quelle influence chacune de ces deux rotations partielles peut avoir sur la direction du plan d'oscillation d'un pendule installé au point A. Eu égard à la rotation de la terre autour de l'axe OF, le pendule, placé en A, se trouve dans les mêmes conditions que lorsqu'il est dans un point de l'équateur EE′, et que l'on considère la rotation réelle de la terre autour de l'axe PP′ : la direction du plan d'oscillation du pendule n'est donc nullement modifiée par l'existence de la rotation de la terre autour de l'axe OF; en sorte que nous pouvons faire abstraction de la rotation OD.

Dès lors, la rotation OC subsistant seule, le pendule installé en A doit se comporter comme il le faisait en P, eu égard à la rotation réelle de la terre autour de PP' : le plan d'oscillation du pendule doit sembler tourner autour de la verticale OA avec une vitesse angulaire égale à celle dont la terre serait animée, si elle ne possédait que la rotation composante OC au lieu de la rotation résultante OB; c'est-à-dire que le temps qu'emploierait le plan d'oscillation à faire un tour entier autour de la verticale OA, si les oscillations du pendule ne s'arrêtaient pas, serait à la durée du jour sidéral dans le rapport inverse des lignes OC, OB. Quant au sens dans lequel s'effectue ce mouvement apparent du plan d'oscillation du pendule au point A, il est évidemment le même qu'au pôle le plus voisin, c'est-à-dire que le plan doit sembler tourner de gauche à droite, en un point quelconque de l'hémisphère boréal, et de droite à gauche, en un point quelconque de l'hémisphère austral.

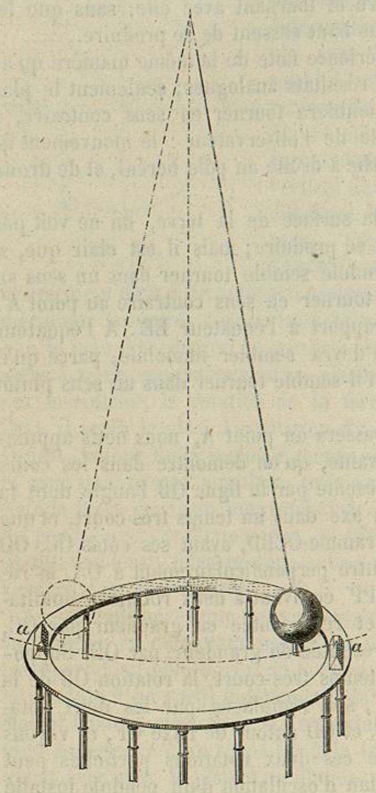

FIG. 347.

Foucault a réalisé à Paris l'expérience dont nous venons de parler, et cela sur une vaste échelle. Un grand nombre de personnes ont pu la voir et assister ainsi à une véritable manifestation artificielle du mouvement de rotation de la terre sur elle-même. Un fil d'acier, d'environ 64 mètres de longueur, était solidement encastré par son extrémité supérieure, dans une plaque métallique fixée au centre de la coupole du Panthéon, et supportait une boule de cuivre d'un poids assez fort attachée à son extrémité inférieure. Lorsque le pendule ainsi formé était mis en mouvement, il effectuait ses oscillations avec beaucoup de lenteur; la durée de chacune d'elles était d'environ 8 secondes. Afin de rendre plus sensible le mouvement de rotation du plan d'oscillation autour de la verticale, on disposait deux petits monticules de sable fin a, a (*fig.* 347), allongés chacun suivant une direction perpendiculaire au plan vertical dans lequel le pendule commençait à osciller, et situés, l'un d'un côté, l'autre de l'autre côté de ce plan. Une pointe fixée au-dessous de la boule du pendule venait à chaque oscillation rencontrer ces deux monticules de sable, et les entamait ainsi peu à peu, à mesure que le plan d'oscillation tournait, comme on le voit sur la figure. Il était important que le pendule fût mis en mouvement avec toutes les précautions possibles, pour qu'il commençât sa première oscillation sans avoir la moindre vitesse initiale; pour cela, on dérangeait le pendule de sa position naturelle d'équilibre, et, après lui avoir donné l'écartement nécessaire, en raison de l'amplitude qu'on voulait obtenir pour les oscillations, on le maintenait immobile dans cette position au moyen d'un fil b (*fig.* 348), attaché à quelque objet fixe, puis, lorsqu'on voyait que la boule était bien en repos dans cette position particulière, on brûlait le fil b à l'aide de la flamme d'une allumette, et le pendule partait aussitôt, en laissant tomber immédiatement la portion du fil b qui environnait la boule.

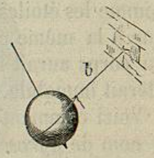

FIG. 348.

L'expérience de Foucault a été répétée dans un grand nombre de lieux, et partout elle a bien réussi. Les oscillations ne se conservaient pas assez longtemps pour que le plan d'oscillation pût faire un tour entier autour de la verticale menée par le point de suspension du pendule; mais il suffisait de mesurer l'angle dont ce plan tournait dans un temps quelconque, pour reconnaître que la vitesse de ce mouvement de rotation, vitesse qui variait d'un lieu à un autre, était bien d'accord avec les considérations théoriques que nous venons de développer.

§ 335. La seconde expérience de Foucault est fondée sur ce principe de mécanique, que si un corps solide, symétrique par rapport à un axe, reçoit un mouvement de rotation autour de cet axe, et qu'aucune force ne vienne ensuite agir sur ce corps pour modifier le mouvement qui lui a été donné, il continue indéfiniment à tourner autour de ce même axe de symétrie, qui conserve d'ailleurs une direction invariable dans l'espace. On comprend que, si l'on réalise ce mouvement de rotation d'un corps symétrique par rapport à un axe, et que ce corps, placé à la surface de la terre, soit mis dans des conditions telles que l'action de la pesanteur qui s'exerce sur lui ne puisse troubler son mouvement en aucune manière, l'invariabilité de direction de son axe de rotation fera ressortir les changements successifs de position qu'éprouvent les objets terrestres voisins, par suite de la rotation de la terre sur elle-même. Si l'axe de rotation du corps paraissait immobile par rapport à ces objets environnants, c'est qu'il participerait au mouvement de rotation de la terre autour de la ligne des pôles, et qu'en conséquence il changerait progressivement de direction dans l'espace. L'invariabilité de sa direction dans l'espace doit donc le faire paraître en mouvement pour les observateurs qui sont placés sur le globe terrestre, et qui tournent avec lui autour de la ligne des pôles : cet axe doit sembler tourner autour de l'axe du monde, en sens contraire du mouvement de rotation de la terre, absolument comme les étoiles, dont le mouvement diurne n'est qu'une apparence due à la même cause. Il n'y a que dans le cas où l'axe de rotation du corps aurait la direction même de l'axe du monde, qu'il semblerait immobile.

Voici comment Foucault a disposé l'appareil, auquel il a donné le nom de *gyroscope*, et qui est destiné à constater l'existence de ce mouvement apparent dû à la rotation de la terre. Un disque métallique *aa* (*fig*. 349 et 350) est monté sur un axe *bb* qui est fixé en son centre et perpendiculairement à ses faces latérales. Ce disque très-massif est renflé sur tout son contour, afin que la matière dont il est formé soit reportée, autant que possible, à sa circonférence. L'axe *bb* est soutenu à ses deux extrémités par deux pivots autour desquels le disque *aa* peut tourner librement. Ces deux pivots sont portés par un anneau *cc*, muni de deux couteaux *d*,*d*, analogues au couteau de suspension d'un fléau de balance. Les couteaux *d*, *d*, reposent par leurs arêtes dans des échancrures pratiquées en deux points opposés de l'anneau vertical *ee*. Enfin l'anneau *ee* est suspendu à un fil un peu long, ce qui lui permet de tourner facilement autour de la verticale suivant laquelle ce fil se dispose; et, pour éviter que cet anneau, avec tout ce qu'il porte, ne puisse osciller comme un pendule sous l'action de la moindre cause qui le dérangerait de sa position d'équilibre, on l'a muni inférieurement d'une pointe déliée qui pénètre dans un trou assez large pour qu'elle puisse y tourner librement sans éprouver de frottement. Ce mode de suspension du disque *aa*, et de

l'axe *bb* qui fait corps avec lui, permet évidemment de faire varier la direction de cet axe *bb* de toutes les manières possibles. En faisant tourner l'anneau *ee* autour de la verticale qui passe par le fil de suspension et par la pointe inférieure, on peut amener l'axe *bb* à être dirigé dans un plan vertical quelconque; en faisant

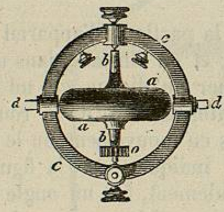

Fig. 350.

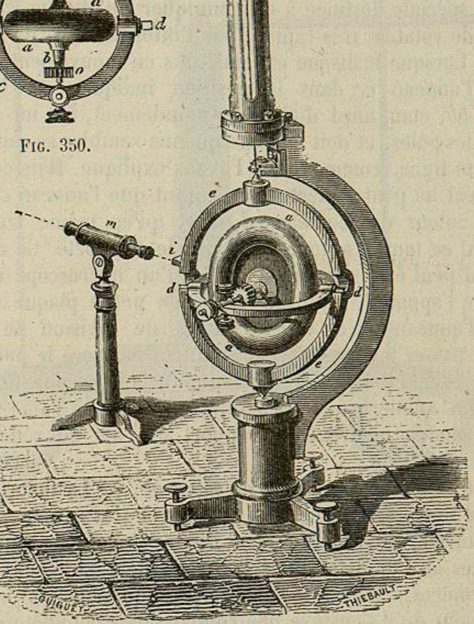

Fig. 349.

ensuite tourner l'anneau *cc* autour des arêtes des couteaux *d*, *d*, on peut faire varier à volonté l'inclinaison de l'axe *bb* ; et ces deux mouvements peuvent s'effectuer sans qu'il en résulte de frottement sensible.

L'appareil a été construit avec le plus grand soin, de manière que le centre de gravité du disque *aa* soit exactement sur son axe de rotation, et que le centre de gravité de l'anneau *cc* chargé du disque se trouve aussi exactement sur l'axe formé par les arêtes des deux couteaux *d*, *d*. Il en résulte que, 1° l'action de la pesanteur n'a aucune influence sur le mouvement de rotation du disque autour de son axe de figure; 2° cette action ne tend en aucune manière à faire varier l'inclinaison de l'axe *bb*, en faisant tourner l'anneau *cc* autour de la ligne de suspension formée par les arêtes des couteaux *d*, *d*.

Pour faire l'expérience, on enlève la partie de l'appareil qui est représentée seule sur la figure 350, et on l'installe dans une machine spéciale destinée à communiquer au disque *aa* un mouvement de rotation très-rapide, par l'intermédiaire de la roue dentée *o*. Lorsque le disque est ainsi mis en mouvement, on le replace avec l'anneau *cc* dans la position indiquée par la figure 349. L'axe *bb*, étant ainsi dirigé horizontalement, fait un angle avec la ligne des pôles, et doit en conséquence sembler se mouvoir autour de cette ligne, comme nous l'avons expliqué. Mais ce mouvement apparent ne peut s'effectuer qu'autant que l'anneau *cc* tourne peu à peu autour des couteaux *d*, *d*, et qu'en même temps l'anneau vertical *ee* tourne autour du fil qui le supporte. Ce dernier mouvement peut être observé à l'aide d'un microscope *m*, installé à côté de l'appareil, et dirigé vers une petite plaque divisée *i* que porte l'anneau *ee*; on voit les traits de division de cette petite plaque passer les uns après les autres derrière le point de croisement des fils d'un réticule adapté au microscope, absolument de la même manière que les étoiles observées à l'aide de la lunette méridienne se meuvent par rapport aux fils du réticule de cette lunette (§ 73).

§ 336. **Densité moyenne de la terre.** — La théorie de la gravitation universelle a permis de trouver les masses du soleil et des planètes, rapportées à l'une d'elles prise pour unité (§ 318). Il suffit dès lors de déterminer la masse de l'un de ces corps, comparativement aux masses des corps que nous voyons autour de nous, pour qu'il s'ensuive une connaissance complète de toutes les autres masses. C'est naturellement sur la terre que doit porter cette détermination; et, au lieu de chercher un nombre qui représente la masse entière du globe, il est préférable de chercher la *densité moyenne* de ce globe, c'est-à-dire la densité qu'il aurait en tous ses points, s'il était homogène et que sa masse fût égale à ce qu'elle est réellement : il suffira en effet de combiner la densité moyenne de la terre avec son volume, pour en conclure au besoin la valeur de sa masse.

La densité moyenne de la terre a été déterminée par Cavendish.

L'appareil dont il s'est servi pour cela est représenté par les

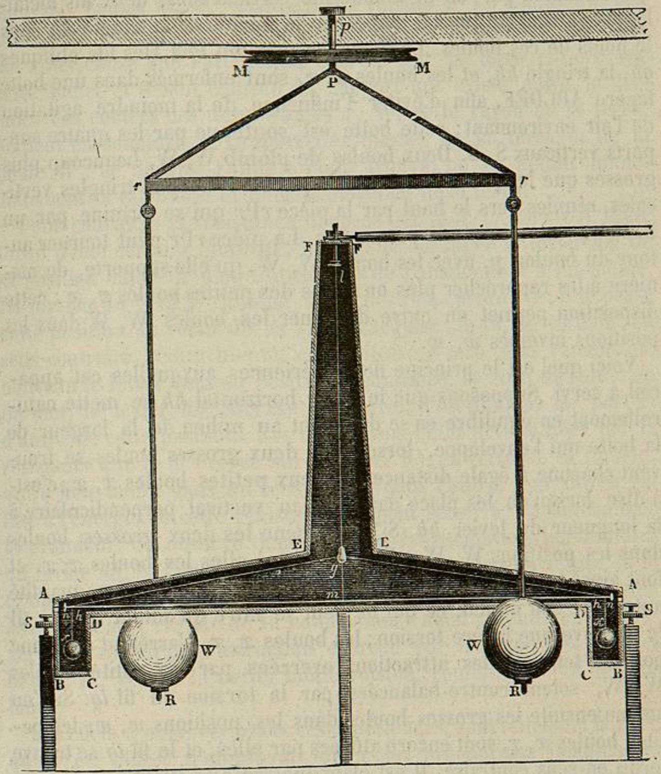

Fig. 351.

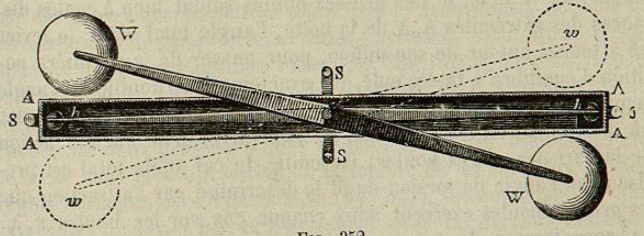

Fig. 352.

figures 351 et 352. Deux petites boules de plomb, *x*, *x*, sont suspendues aux extrémités d'une tringle horizontale hh, supportée en son milieu par un fil métallique vertical lgm; deux fils métalliques gh sont destinés à empêcher la flexion de la tringle hh sous le poids de ces boules. Le fil de suspension lgm, les fils obliques gh, la tringle hh, et les boules x, x, sont enfermés dans une boîte légère ABCDEF, afin d'éviter l'influence de la moindre agitation de l'air environnant; cette boîte est soutenue par les quatre supports verticaux S, S. Deux boules de plomb W, W, beaucoup plus grosses que les premières, sont suspendues à deux tringles verticales, réunies vers le haut par la pièce rPr qui se termine par un boulon p traversant une poutre fixe. La pièce rPr peut tourner autour du boulon p, avec les boules W, W, qu'elle supporte, de manière à les rapprocher plus ou moins des petites boules x, x : cette disposition permet en outre d'amener les boules W, W dans les positions inverses w, w.

Voici quel est le principe des expériences auxquelles cet appareil a servi. Supposons que le levier horizontal hh se mette naturellement en équilibre en se disposant au milieu de la largeur de la boîte qui l'enveloppe, lorsque les deux grosses boules se trouvent chacune à égale distance des deux petites boules x, x, c'est-à-dire lorsqu'on les place dans le plan vertical perpendiculaire à la longueur du levier hh. Si l'on amène les deux grosses boules dans les positions W, W, elles attirent à elles les boules x, x, et font ainsi tourner le levier horizontal hh d'une certaine quantité autour de son milieu, ce qui ne peut se faire qu'autant que le fil lg éprouve une légère torsion; les boules x, x, s'arrêtent dans une position telle que les attractions exercées par les petites boules W, W, soient contre-balancées par la torsion du fil lg. Si l'on amène ensuite les grosses boules dans les positions w, w, les petites boules x, x, sont encore attirées par elles, et le fil lg se trouve tordu en sens contraire. Il est clair que, en admettant que les positions W, W et w, w des grosses boules soient bien à égales distances des extrémités A, A de la boîte, l'angle total dont le levier hh a tourné autour de son milieu, pour passer de la première position d'équilibre à la seconde, est exactement le double de l'angle compris entre chacune d'elles et la position que prendrait le levier hh dans le cas où les boules x, x, n'éprouveraient aucune action de la part des autres boules; la moitié de cet angle total est précisément l'angle de torsion du fil lg déterminé par l'attraction que les grosses boules exercent dans chaque cas sur les boules x, x. La connaissance de cet angle doit permettre d'évaluer la résistance que le fil lg oppose au levier hh, en raison de la torsion qu'il

éprouve, et par suite la grandeur de la force d'attraction de chacune des boules W, W, sur la boule voisine x. En comparant ensuite cette force d'attraction avec le poids de la boule x, qui n'est pas autre chose que l'attraction exercée par la terre entière sur cette boule, et tenant compte du rapport qui existe entre la distance des centres des deux boules x, W, et le rayon de la terre, on peut en conclure le rapport des masses de la terre et de la boule W : ce dernier rapport étant trouvé, on en déduit immédiatement la valeur de la densité moyenne de la terre.

Pour connaître la résistance opposée par le fil lg, lorsqu'il a été tordu d'une certaine quantité, il suffit de déranger le levier hh de sa position naturelle d'équilibre, puis de l'abandonner à lui-même. La torsion du fil lg le ramène à sa position primitive; il dépasse cette position en vertu de sa vitesse acquise; le fil, se tordant en sens contraire, réduit bientôt cette vitesse à zéro, puis ramène de nouveau le levier vers sa position d'équilibre, et ainsi de suite : en un mot, le levier hh effectue une série d'oscillations de part et d'autre de cette position. Les oscillations étant déterminées par la résistance que le fil exerce sur le levier hh, en vertu de sa torsion, qui a lieu tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, leur durée est liée à l'énergie de cette résistance, et peut servir à en déterminer la grandeur. On observe donc la durée des oscillations horizontales du levier hh, et l'on en déduit la valeur de la résistance que le fil lg oppose à la torsion, pour chaque angle d'écartement du levier hh. On se sert ensuite de la connaissance ainsi obtenue pour trouver la grandeur de l'attraction exercée par chacune des grosses boules W, W, sur la petite boule voisine, comme il a été dit plus haut.

Les effets à observer, dans ces expériences, sont tellement faibles, qu'on est obligé d'employer toutes les précautions imaginables pour qu'ils ne soient pas troublés et même masqués complétement par des causes accidentelles, telles que le mouvement de l'air et les variations de température. Aussi Cavendish a-t-il disposé son appareil dans une chambre close (*fig.* 353,) dans laquelle il n'avait pas besoin de pénétrer. Des lunettes T, T, servaient à observer du dehors, soit l'écartement permanent du levier hh sous l'action de deux grosses boules de plomb, soit les oscillations de ce levier sous la seule action de la torsion du fil lg. Deux petites règles horizontales divisées n, n (*fig.* 351), étaient adaptées aux extrémités du levier hh, et marchaient avec lui derrière deux petites ouvertures par lesquelles on pouvait les voir à l'aide des lunettes T, T. Deux lampes L, L, projetaient de la lumière sur ces deux petites règles n, n. Une tige horizontale, terminée par un bouton K, était en communication par son autre extrémité avec le support du fil vertical lg; en faisant tourner le bouton K, on faisait tourner en même temps ce support autour d'un axe vertical; et

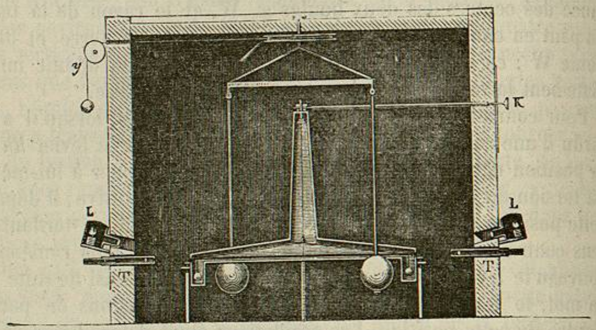

Fig. 353.

l'on pouvait ainsi faire en sorte que le levier hh fût bien au milieu de la largeur de la boite, lorsque le fil vertical lg n'éprouvait aucune torsion. Enfin, une corde passait dans la gorge d'une poulie MM fixée horizontalement au-dessus de la pièce rPr; les deux cordons qui s'en détachaient de part et d'autre sortaient de la chambre par deux petites ouvertures latérales, passaient chacun dans la gorge d'une poulie verticale y, et supportaient des corps pesants destinés à leur donner une tension convenable : il suffisait de tirer l'un de ces deux cordons pour que la poulie MM tournât en entraînant avec elle les deux boules W, W, ce qui permettait de placer ces deux boules comme on voulait par rapport au reste de l'appareil.

§ 337. Les expériences de Cavendish, exécutées en 1798, dix ans après que Coulomb eut donné le moyen de mesurer les petites forces à l'aide de la balance de torsion, donnèrent pour densité moyenne de la terre le nombre 5, 48.

Maskelyne et M. Airy, en appliquant la méthode de la déviation de la verticale, imaginée par Bouguer et Lacondamine, trouvèrent pour cette densité la valeur 4,5.

Les expériences de Cavendish furent reprises en 1838, en Allemagne, par M. Reich; une première série donna comme résultat 5,44, corrigé plus tard et porté à 5,49; une deuxième série, en 1849, donna 5,58.

L'astronome anglais Baily, reprit également les expériences de Cavendish et trouva le nombre 5,67.

En France, MM. Cornu et Baille viennent de reprendre ces recherches. Leur appareil, installé dans les caves de l'École polytechnique, présente sur ceux de Cavendish, de Reich, et de Baily de notables avantages. Les dimensions de cet appareil sont des plus réduites : la masse attirante pèse 12 kilogrammes seulement; elle pesait 316 kilogrammes dans l'appareil de Cavendish.

La masse attirante est formée par du mercure contenu dans deux sphères creuses de fonte de 12 centimètres de diamètre; par aspiration on fait passer le mercure de l'une des sphères dans l'autre, de façon à doubler l'effet de l'attraction.

Les perturbations électriques sont éliminées par la construction métallique de toutes les parties de l'appareil et leur communication constante avec le sol. Enfin, un enregistreur électrique permet de conserver sous forme de tracés graphiques la loi complète du mouvement d'oscillation du levier.

MM. Cornu et Baille ont obtenu comme résultat du relevé de plus de deux cents oscillations doubles, le nombre 5,56.

La densité des matières qui composent les diverses parties de la surface du globe terrestre est beaucoup plus faible que cette densité moyenne; on en conclut naturellement que la densité de la terre doit aller en croissant de la surface au centre.

§ 338. **Densités des Planètes.** — La connaissance de la densité moyenne de la terre permet de trouver également les densités moyennes du soleil, de la lune et des planètes. En effet, d'après le tableau de la page 568, on connait les rapports des masses de ces divers corps à la masse de la terre, on peut en conclure les valeurs que prendraient ces rapports de masses, si les volumes de tous ces corps étaient modifiés de manière à devenir tous égaux au volume de la terre, sans que leurs densités moyennes fussent changées; ces rapports de masses, à égalité de volume, sont évidemment aussi les rapports des densités moyennes correspondantes.

On trouvera dans le tableau suivant les densités des planètes rapportées à celle de l'eau, en même temps que les principaux résultats que nous avons indiqués déjà sur les dimensions des planètes.

NOMS des ASTRES.	Rayons.	Surfaces.	Volumes.	Masses.	Densités moyennes.
Mercure...........	0,38	0,14	0,05	0,08	7,7
Vénus.............	0,95	0,91	0,87	0,79	5,0
La Terre..........	1,00	1,00	1,00	1,00	5,6
Mars..............	0,54	0,29	0,16	0,11	4,0
Jupiter...........	11,16	125,00	1390,00	309,03	1,3
Saturne...........	9,53	91,00	865,00	92,39	0,7
Uranus............	4,22	18,00	75,00	15,77	1,2
Neptune...........	4,41	19,00	86,00	18,54	1,2
La Lune...........	0,27	0,07	0,02	0,01	3,4

Un calcul analogue donnerait pour le soleil, une densité égale à 1,4 c'est-à-dire peu supérieure à celle de l'eau.

CHAPITRE SEPTIÈME

DES ÉTOILES ET DES NÉBULEUSES.

§ 339. Après avoir parcouru, dans les chapitres précédents, tout le cercle des connaissances que l'on possède relativement au système planétaire, il ne nous reste plus qu'à exposer les notions que l'on a pu acquérir sur le reste de l'univers, et sur le rôle qu'y joue le soleil avec son cortége de planètes et de satellites. C'est ce que nous allons faire dans ce dernier chapitre. Nous donnerons d'abord quelques détails sur ce que l'observation a fait connaître relativement aux étoiles proprement dites; puis nous nous occuperons des nébuleuses, dont l'étude est d'autant plus importante et curieuse, qu'elle conduit à des idées très-probables sur la formation de tous ces corps que nous apercevons au milieu de l'immensité.

ÉTOILES.

§ 340. **Irradiation.** — Lorsque nous avons indiqué (§ 58) les caractères qui permettent de distinguer les planètes des étoiles, nous avons dit qu'en augmentant le grossissement d'une lunette, on augmente en même temps les dimensions apparentes du disque de la planète, tandis que les étoiles ne paraissent jamais avoir des dimensions appréciables.

Cette différence d'action des lunettes sur une étoile et sur une planète tient à ce que la planète est beaucoup moins éloignée de nous que l'étoile. Les lunettes nous font voir la planète avec des dimensions de plus en plus grandes, à mesure que le grossissement est plus fort, ce qui est tout naturel. Tandis que l'étoile est tellement éloignée de nous, que le grossissement des lunettes qu'on emploie ne peut pas rendre ses dimensions sensibles. Un grossissement de 1000 produit, sous le rapport de la grandeur apparente de l'étoile, le même effet que si nous la regardions à l'œil nu en nous plaçant à une distance mille fois plus petite que celle qui existe entre elle et nous : or, cette distance mille fois plus petite serait encore tellement grande, par rapport aux dimensions réelles de l'étoile, qu'elle nous paraîtrait toujours comme un point.