

*Note sur l'origine et la formation de  
notre système planétaire*

*Note on the origin and formation of  
our planetary system*

Pierre-Simon de Laplace

1867

# CONTENTS

Translator's Note.....2

Original.....3

English translation.....22

## Translator's Note

Laplace's remarks on the organisation of the Solar System were originally published at the end of his monumental *Exposition du Système du Monde*, first published in 1796. This material was reprinted by the *Bureau des longitudes*, an institution of which he was founding director, in their *Annuaire* of 1867<sup>1</sup>, forty years after his death, making his work available to a wider public. This version being more easily accessible than the *Exposition*, notably at the website *gallica.bnf.fr* of the *Bibliothèque Nationale Française*<sup>2</sup>, it is that form which is republished and translated here. Brief remarks in square brackets [] have been used occasionally to add clarity.

Denis de Castro, Auckland

August 2020

---

<sup>1</sup> pp 434–458

<sup>2</sup> at [gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6540184j](https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6540184j), accessed 30 August 2020

Pierre-Simon de Laplace

*Note sur l'origine et la formation de notre système  
planétaire*

Annuaire pour l'an 1867, publié par le Bureau des  
Longitudes 1867, pages 434–458

NOTE  
SUR  
L'ORIGINE ET LA FORMATION  
DE  
NOTRE SYSTÈME PLANÉTAIRE,  
PAR LAPLACE.

(Extrait de l'*Exposition du Système du Monde*, 6<sup>e</sup> édition, 1835)

On a, pour remonter à la cause des mouvements primitifs du système planétaire, les cinq phénomènes suivants : les mouvements des planètes dans le même sens, et à peu près dans un même plan; les mouvements des satellites dans le même sens que ceux des planètes ; les mouvements de rotation de ces différents corps et du Soleil, dans le même sens que leurs mouvements de projection et dans des plans peu différents; le peu d'excentricité des orbites des planètes et des satellites; enfin, la grande excentricité des orbites des comètes, quoique leurs inclinaisons aient été abandonnées au hasard.

Buffon est le seul que je connaisse, qui depuis la découverte du vrai système du monde, ait essayé de remonter à l'origine des planètes et des satellites. Il suppose qu'une comète, en tombant sur le Soleil, en a chassé un torrent de matière qui s'est réunie au loin, en divers globes plus ou moins grands et plus ou moins éloignés de cet astre. Ces globes, devenus par leur refroidissement opaques et solides, sont les planètes et leurs satellites.

Cette hypothèse satisfait au premier des cinq phénomènes précédents; car il est clair que tous les corps ainsi formés doivent se mouvoir à peu près dans le plan qui passait par le centre du Soleil et par la direction du torrent de matière qui les a produits. Les quatre autres phénomènes me paraissent inexplicables par son moyen. A la vérité, le mouvement absolu

des molécules d'une planète doit être alors dirigé dans le sens du mouvement de son centre de gravité; mais il ne s'ensuit point que le mouvement de rotation de la planète soit dirigé dans le même sens : ainsi, la Terre pourrait tourner d'orient en occident, et cependant le mouvement absolu de chacune de ses molécules serait dirigé d'occident en orient, ce qui doit s'appliquer au mouvement de révolution des satellites, dont la direction, dans l'hypothèse dont il s'agit, n'est pas nécessairement la même que celle du mouvement de projection des planètes.

Un phénomène, non-seulement très-difficile à expliquer dans cette hypothèse, mais qui lui est contraire, est le peu d'excentricité des orbes planétaires. On sait par la théorie des forces centrales que si un corps, mû dans un orbe rentrant autour du Soleil, rase la surface de cet astre, il y reviendra constamment à chacune de ses révolutions; d'où il suit que si les planètes avaient été primitivement détachées du Soleil, elles le toucheraient à chaque retour vers cet astre, et leurs orbes, loin d'être circulaires, seraient fort excentriques. Il est vrai qu'un torrent de matière, chassé du Soleil, ne peut pas être exactement comparé à un globe qui rase sa surface : l'impulsion que les parties de ce torrent reçoivent les unes des autres, et l'attraction réciproque quelles exercent entre elles, peuvent, en changeant la direction de leurs mouvements, éloigner leurs périhélies du Soleil. Mais leurs orbes devraient toujours être fort

excentriques, ou du moins ils n'auraient pu avoir tous de petites excentricités que par le hasard le plus extraordinaire. Enfin on ne voit point, dans l'hypothèse de Buffon, pourquoi les orbites de plus de cent comètes, déjà observées, sont tous fort allongés. Cette hypothèse est donc très-éloignée de satisfaire aux phénomènes précédents. Voyons s'il est possible de s'élever à leur véritable cause.

Quelle que soit sa nature, puisqu'elle a produit ou dirigé les mouvements des planètes, il faut qu'elle ait embrassé tous ces corps, et, vu la distance prodigieuse qui les sépare, elle ne peut avoir été qu'un fluide d'une immense étendue. Pour leur avoir donné dans le même sens un mouvement presque circulaire autour du Soleil, il faut que ce fluide ait environné cet astre comme une atmosphère. La considération des mouvements planétaires nous conduit donc à penser qu'en vertu d'une chaleur excessive, l'atmosphère du Soleil s'est primitivement étendue au delà des orbites de toutes les planètes, et qu'elle s'est resserrée successivement jusqu'à ses limites actuelles.

Dans l'état primitif où nous supposons le Soleil, il ressemblait aux nébuleuses que le télescope nous montre composées d'un noyau plus ou moins brillant, entouré d'une nébulosité qui, en se condensant à la surface du noyau, le transforme en étoile. Si l'on conçoit, par analogie, toutes les étoiles formées de cette manière, on peut imaginer leur état antérieur de nébulosité,

précédé lui-même par d'autres états dans lesquels la matière nébuleuse était de plus en plus diffuse, le noyau étant de moins en moins lumineux. On arrive ainsi, en remontant aussi loin qu'il est possible, à une nébulosité tellement diffuse, que l'on pourrait à peine en soupçonner l'existence.

Depuis longtemps la disposition particulière de quelques étoiles visibles à la vue simple a frappé des observateurs philosophes. Mitchel a déjà remarqué combien il est peu probable que les étoiles des Pléiades, par exemple, aient été resserrées dans l'espace étroit qui les renferme par les seules chances du hasard, et il en a conclu que ce groupe d'étoiles, et les groupes semblables que le ciel nous présente, sont les effets d'une cause primitive ou d'une loi générale de la nature. Ces groupes sont un résultat nécessaire de la condensation des nébuleuses à plusieurs noyaux ; car il est visible que la matière nébuleuse étant sans cesse attirée par ces noyaux divers, ils doivent former, à la longue, un groupe d'étoiles pareil à celui des Pléiades. La condensation des nébuleuses à deux noyaux formera semblablement des étoiles très-rapprochées, tournant l'une autour de l'autre, telles que les étoiles doubles, dont on a déjà reconnu les mouvements respectifs.

Mais comment l'atmosphère solaire a-t-elle déterminé les mouvements de rotation et de révolution des planètes et des satellites ? Si ces corps avaient pénétré profondément dans cette

atmosphère, sa résistance les aurait fait tomber sur le Soleil; on peut donc conjecturer que les planètes ont été formées à ces limites successives par la condensation des zones de vapeurs qu'elle a dû, en se refroidissant, abandonner dans le plan de son équateur.

Rappelons les résultats que nous avons donnés dans le dixième chapitre du livre précédent<sup>3</sup>. L'atmosphère du Soleil ne peut pas s'étendre indéfiniment : sa limite est le point où la force centrifuge due à son mouvement de rotation balance la pesanteur; or à mesure que le refroidissement resserre l'atmosphère et condense à la surface de l'astre les molécules qui en sont voisines, le mouvement de rotation augmente; car, en vertu du principe des aires, la somme des aires décrites par le rayon vecteur de chaque molécule du Soleil et de son atmosphère, et projetées sur le plan de son équateur, étant toujours la même, la rotation doit être plus prompte quand ces molécules se rapprochent du centre du Soleil. La force centrifuge due à ce mouvement devenant ainsi plus grande, le point où la pesanteur lui est égale est plus près de ce centre. Eu supposant donc, ce qu'il est naturel d'admettre, que l'atmosphère s'est étendue à une époque quelconque jusqu'à sa limite, elle a dû, en se refroidissant, abandonner les molécules situées à cette limite et aux limites successives produites par

---

<sup>3</sup> Livre IV de l'*Exposition du Système du Monde* [Ch. X 'Des atmosphères des corps célestes'].

l'accroissement de la rotation du Soleil. Ces molécules abandonnées ont continué de circuler autour de cet astre, puisque leur force centrifuge était balancée par leur pesanteur. Mais cette égalité n'ayant point lieu par rapport aux molécules atmosphériques placées sur les parallèles à l'équateur solaire, celles-ci se sont rapprochées par leur pesanteur de l'atmosphère à mesure qu'elle se condensait, et elles n'ont cessé de lui appartenir qu'autant que par ce mouvement elles se sont rapprochées de cet équateur.

Considérons maintenant les zones des vapeurs successivement abandonnées. Ces zones ont du, selon toute vraisemblance, former, par leur condensation et l'attraction mutuelle de leurs molécules, divers anneaux concentriques de vapeurs circulant autour du Soleil. Le frottement mutuel des molécules de chaque anneau a dû accélérer les unes et retarder les autres, jusqu'à ce qu'elles aient acquis un même mouvement angulaire. Ainsi, les vitesses réelles des molécules plus éloignées du centre de l'astre ont été plus grandes. La cause suivante a dû contribuer encore à cette différence de vitesses : les molécules les plus distantes du Soleil, et qui, par les effets du refroidissement et de la condensation, s'en sont rapprochées pour former la partie supérieure de l'anneau, ont toujours décrit des aires proportionnelles aux temps, puisque la force centrale dont elles étaient animées a été constamment dirigée vers cet astre; or cette constance des aires exige un

accroissement de vitesse à mesure qu'elles s'en sont rapprochées. On voit que la même cause a dû diminuer la vitesse des molécules qui se sont élevées vers l'anneau, pour former sa partie inférieure.

Si toutes les molécules d'un anneau de vapeurs continuaient de se condenser sans se désunir, elles formeraient à la longue un anneau liquide ou solide. Mais la régularité que cette formation exige dans toutes les parties de l'anneau et dans leur refroidissement a dû rendre ce phénomène extrêmement rare. Aussi le système solaire n'en offre-t-il qu'un seul exemple, celui des anneaux de Saturne. Presque toujours chaque anneau de vapeurs a dû se rompre en plusieurs masses qui, mues avec des vitesses très-peu différentes, ont continué de circuler à la même distance autour du Soleil. Ces masses ont dû prendre une forme sphéroïdique, avec un mouvement de rotation dirigé dans le sens de leur révolution, puisque leurs molécules inférieures avaient moins de vitesse réelle que les supérieures; elles ont donc formé autant de planètes à l'état de vapeurs. Mais si l'une d'elles a été assez puissante pour réunir successivement, par son attraction, toutes les autres autour de son centre, l'anneau de vapeurs aura été ainsi transformé dans une seule masse sphéroïdique de vapeurs, circulant autour du Soleil avec une rotation dirigée dans le sens de sa révolution. Ce dernier cas a été le plus commun. Cependant le système solaire nous offre le premier cas dans les quatre petites planètes qui se meuvent

entre Jupiter et Mars<sup>4</sup>, à moins qu'on ne suppose, avec M. Olbers, qu'elles formaient primitivement une seule planète qu'une forte explosion a divisée en plusieurs parties animées de vitesses différentes.

Maintenant, si nous suivons les changements qu'un refroidissement ultérieur a dû produire dans les planètes en vapeurs, dont nous venons de concevoir la formation; nous verrons naître au centre de chacune d'elles un noyau s'accroissant sans cesse par la condensation de l'atmosphère qui l'environne. Dans cet état, la planète ressemblait parfaitement au Soleil à l'état de nébuleuse où nous venons de le considérer; le refroidissement a donc dû produire aux diverses limites de son atmosphère des phénomènes semblables à ceux que nous avons décrits, c'est-à-dire des anneaux et des satellites circulant autour de son centre, dans le sens de son mouvement de rotation, et tournant dans le même sens sur eux-mêmes. La distribution régulière de la masse des anneaux de Saturne, autour de son centre et dans le plan de son équateur, résulte naturellement de cette hypothèse, et sans elle devient inexplicable : ces anneaux me paraissent être des preuves toujours subsistantes de l'extension primitive de l'atmosphère de Saturne, et de ses retraites successives. Ainsi les phénomènes

---

<sup>4</sup> Laplace ne connaissait que quatre des planètes télescopiques qui circulent entre Jupiter et Mars (Cérès, Pallas, Junon et Vesta).

Ce n'est que longtemps après sa mort, en 1845, que le nombre des planètes connues dans cette région a commencé à s'accroître.

singuliers du peu d'excentricité des orbites des planètes et des satellites, du peu d'inclinaison de ces orbites à l'équateur solaire, et de l'identité du sens des mouvements de rotation et de révolution de tous ces corps avec celui de la rotation du Soleil, découlent de l'hypothèse que nous proposons, et lui donnent une grande vraisemblance, qui peut encore être augmentée par la considération suivante :

Tous les corps qui circulent autour d'une planète ayant été, suivant cette hypothèse, formés par les zones que son atmosphère a successivement abandonnées, et son mouvement de rotation étant devenu de plus en plus rapide, la durée de ce mouvement doit être moindre que celles de la révolution de ces différents corps, ce qui a lieu semblablement pour le Soleil comparé aux planètes<sup>5</sup>. Tout cela est confirmé par les observations. La durée de la révolution de l'anneau le plus voisin de Saturne est, suivant les observations d'Herschel, 0<sup>j</sup>.438, et celle de la rotation de Saturne n'est que 0<sup>j</sup>.427. La différence 0<sup>j</sup>.011 est peu considérable, comme cela doit être, parce que la partie de l'atmosphère de Saturne, que la

---

<sup>5</sup> Kepler, dans son ouvrage *De motibus stellæ Martis*, a expliqué le mouvement de toutes les planètes, dans un même sens, au moyen d'espèces immatérielles émanées de la surface du Soleil, et qui, conservant le mouvement de rotation qu'elles avaient à la surface, impriment ce mouvement aux planètes. Il en a conclu que le Soleil tourne sur lui-même dans un temps moindre que celui de la révolution de Mercure; ce que Galilée reconnut bientôt après par l'observation. L'hypothèse de Kepler est sans doute inadmissible; mais il est remarquable qu'il ait fait dépendre l'identité de la direction des mouvements planétaires de cette rotation du Soleil, tant cette tendance paraît naturelle.

diminution de la chaleur a déposée à la surface de cette planète depuis la formation de l'anneau ayant été peu considérable, et venant d'une petite hauteur, elle a dû peu augmenter la rotation de la planète.

Si le système solaire s'était formé avec une parfaite régularité, les orbites des corps qui le composent seraient des cercles dont les plans, ainsi que ceux des divers équateurs et des anneaux, coïncideraient avec le plan de l'équateur solaire. Mais on conçoit que les variétés sans nombre qui ont dû exister dans la température et la densité des diverses parties de ces grandes masses ont produit les excentricités de leurs orbites et les déviations de leurs mouvements du plan de cet équateur.

Dans notre hypothèse, les comètes sont étrangères au système planétaire. En les considérant, ainsi que nous l'avons fait, comme de petites nébuleuses errantes de systèmes en systèmes solaires, et formées par la condensation de la matière nébuleuse répandue avec tant de profusion dans l'univers, on voit que lorsqu'elles parviennent dans la partie de l'espace où l'attraction du Soleil est prédominante, il les force à décrire des orbites elliptiques ou hyperboliques. Mais leurs vitesses étant également possibles suivant toutes les directions, elles doivent se mouvoir indifféremment dans tous les sens et sous toutes les inclinaisons à l'écliptique, ce qui est conforme à ce que l'on observe. Ainsi la condensation de la matière nébuleuse, par

laquelle nous venons d'expliquer les mouvements de rotation et de révolution des planètes et des satellites dans le même sens et sur des plans peu différents, explique également pourquoi les mouvements des comètes s'écartent de cette loi générale.

La grande excentricité des orbes cométaires est encore un résultat de notre hypothèse. Si ces orbes sont elliptiques, ils sont très-allongés, puisque leurs grands axes sont au moins égaux au rayon de la sphère d'activité du Soleil. Mais ces orbes peuvent être hyperboliques, et si les axes de ces hyperboles ne sont pas très-grands par rapport à la moyenne distance du Soleil à la Terre, le mouvement des comètes qui les décrivent paraîtra sensiblement hyperbolique. Cependant, sur cent comètes au moins dont on a déjà les éléments, aucune n'a paru se mouvoir dans une hyperbole; il faut donc que les chances qui donnent une hyperbole sensible soient extrêmement rares par rapport aux chances contraires. Les comètes sont si petites, qu'elles ne deviennent visibles que lorsque leur distance périhélie est peu considérable. Jusqu'à présent, cette distance n'a surpassé que deux fois le diamètre de l'orbe terrestre, et le plus souvent elle a été au-dessous du rayon de cet orbe. On conçoit que pour approcher si près du Soleil, leur vitesse, au moment de leur entrée dans sa sphère d'activité, doit avoir une grandeur et une direction comprises dans d'étroites limites. En déterminant par l'analyse des probabilités le rapport des chances qui, dans ces limites, donnent une hyperbole sensible aux chances qui

donnent un orbe que l'on puisse confondre avec une parabole, j'ai trouvé qu'il y a six mille au moins à parier contre l'unité qu'une nébuleuse qui pénètre dans la sphère d'activité du Soleil, de manière à pouvoir être observée, décrira, ou une ellipse très-allongée, ou une hyperbole qui, par la grandeur de son axe, se confondra sensiblement avec une parabole dans la partie que l'on observe; il n'est donc pas surprenant que jusqu'ici l'on n'ait point reconnu de mouvements hyperboliques.

L'attraction des planètes, et peut-être encore la résistance des milieux éthérés, a dû changer plusieurs orbes cométaires dans des ellipses dont le grand axe est beaucoup moindre que le rayon de la sphère d'activité du Soleil. Ce changement peut encore résulter de la rencontre de ces astres; car il suit de notre hypothèse sur leur formation qu'il doit y en avoir un nombre prodigieux dans le système solaire, ceux qui s'approchent assez près du Soleil pouvant seuls être observés. On peut croire qu'un pareil changement a eu lieu pour l'orbe de la comète de 1759 dont le grand axe ne surpasse que trente-cinq fois la distance du Soleil à la Terre. Un changement plus grand encore est arrivé aux orbes des comètes de 1770 et de 1805.

Si quelques comètes ont pénétré dans les atmosphères du Soleil et des planètes au temps de leur formation, elles ont dû, en décrivant des spirales, tomber sur ces corps, et, par leur

chute, écarter les plans des orbites et des équateurs des planètes du plan de l'équateur solaire.

Si, dans les zones abandonnées par l'atmosphère du Soleil, il s'est trouvé des molécules trop volatiles pour s'unir entre elles ou aux planètes, elles doivent, en continuant de circuler autour de cet astre, offrir toutes les apparences de la lumière zodiacale, sans opposer de résistance sensible aux divers corps du système planétaire, soit à cause de leur extrême rareté, soit parce que leur mouvement est à fort peu près le même que celui des planètes qu'elles rencontrent.

L'examen approfondi de toutes les circonstances de ce système accroît encore la probabilité de notre hypothèse. La fluidité primitive des planètes est clairement indiquée par l'aplatissement de leur figure, conforme aux lois de l'attraction mutuelle de leurs molécules; elle est, de plus, prouvée pour la Terre, par la diminution<sup>6</sup> régulière de la pesanteur, en allant de l'équateur aux pôles. Cet état de fluidité primitive, auquel on est conduit par des phénomènes astronomiques, doit se manifester dans ceux que l'histoire naturelle nous présente. Mais, pour l'y retrouver, il est nécessaire de prendre en considération l'immense variété des combinaisons formées par toutes les substances terrestres mêlées dans l'état de vapeurs, lorsque l'abaissement de la température a permis à leurs éléments de s'unir; il faut ensuite considérer les prodigieux

---

<sup>6</sup> Lisez l'augmentation.

changements que cet abaissement a dû successivement amener dans l'intérieur et à la surface de la Terre, dans toutes ses productions, dans la constitution et la pression de l'atmosphère, dans l'Océan et dans les corps qu'il a tenus en dissolution. Enfin, il faut avoir égard aux changements brusques, tels que les grandes éruptions volcaniques, qui ont dû troubler à diverses époques la régularité de ces changements. La Géologie, suivie sous ce point de vue qui la rattache à l'Astronomie, pourra sur beaucoup d'objets en acquérir la précision et la certitude.

Un des phénomènes les plus singuliers du système solaire est l'égalité rigoureuse que l'on observe entre les mouvements angulaires de rotation et de révolution de chaque satellite. Il y a l'infini contre un à parier qu'il n'est point l'effet du hasard. La théorie de la pesanteur universelle fait disparaître l'infini de cette invraisemblance en nous montrant qu'il suffit, pour l'existence du phénomène, qu'à l'origine ces mouvements aient été très peu différents. Alors l'attraction de la planète a établi entre eux une parfaite égalité; mais en même temps elle a donné naissance à une oscillation périodique dans l'axe du satellite dirigé vers la planète, oscillation dont l'étendue dépend de la différence primitive des deux mouvements. Les observations de Mayer sur la libration de la Lune, et celles que MM. Bouvard et Nicollet viennent de faire sur le même objet, à ma prière, n'ayant point fait reconnaître cette oscillation, la différence dont

elle dépend doit être très-petite, ce qui indique, avec une extrême vraisemblance, une cause spéciale qui d'abord a renfermé cette différence dans les limites fort resserrées où l'attraction de la planète a pu établir entre les mouvements moyens de rotation et de révolution une égalité rigoureuse, et qui ensuite a fini par détruire l'oscillation que cette égalité a fait naître. L'un et l'autre de ces effets résultent de notre hypothèse; car on conçoit que la Lune, à l'état de vapeurs, formait par l'attraction puissante de la Terre un sphéroïde allongé, dont le grand axe devait être dirigé sans cesse vers cette planète par la facilité avec laquelle les vapeurs cèdent aux plus petites forces qui les animent. L'attraction terrestre, continuant d'agir de la même manière tant que la Lune a été dans un état fluide, a dû à la longue, en rapprochant sans cesse les deux mouvements de ce satellite, faire tomber leur différence dans les limites où commence à s'établir leur égalité rigoureuse. Ensuite, cette attraction a dû anéantir peu à peu l'oscillation que cette égalité a produite dans le grand axe du sphéroïde dirigé vers la Terre. C'est ainsi que les fluides qui recouvrent cette planète, ont détruit par leur frottement et par leur résistance les oscillations primitives de son axe de rotation, qui maintenant n'est plus assujetti qu'à la nutation résultante des actions du Soleil et de la Lune. Il est facile de se convaincre que l'égalité des mouvements de rotation et de révolution des satellites a dû mettre obstacle à la formation d'anneaux et de satellites

secondaires par les atmosphères de ces corps. Aussi l'observation n'a-t-elle jusqu'à présent rien indiqué de semblable.

Les mouvements des trois premiers satellites de Jupiter présentent un phénomène plus extraordinaire encore que le précédent, et qui consiste en ce que la longitude moyenne du premier, moins trois fois celle du second, plus deux fois celle du troisième, est constamment égale à deux angles droits. Il y a l'infini contre un à parier que cette égalité n'est point due au hasard; mais on a vu que pour la produire il a suffi qu'à l'origine les moyens mouvements de ces trois corps aient fort approché de satisfaire au rapport qui rend nul le moyen mouvement du premier, moins trois fois celui du second, plus deux fois celui du troisième. Alors leur attraction mutuelle a établi rigoureusement ce rapport, et, de plus, elle a rendu constamment égale à la demi-circonférence la longitude moyenne du premier satellite, moins trois fois celle du second, plus deux fois celle du troisième. En même temps elle a donné naissance à une inégalité périodique qui dépend de la petite quantité dont les moyens mouvements s'écartaient primitivement du rapport que nous venons d'énoncer. Quelques soins que Delambre ait mis à reconnaître cette inégalité par les observations, il n'a pu y parvenir, ce qui prouve son extrême petitesse, et ce qui, par conséquent, indique avec une très-grande vraisemblance une cause qui l'a fait disparaître.

Dans notre hypothèse, les satellites de Jupiter, immédiatement après leur formation, ne se sont point mus dans un vide parfait : les molécules les moins condensables des atmosphères primitives du Soleil et de la planète formaient alors un milieu rare, dont la résistance, différente pour chacun de ces astres, a pu approcher peu à peu leurs moyens mouvements du rapport dont il s'agit; et lors que ces mouvements ont ainsi atteint les conditions requises pour que l'attraction mutuelle des trois satellites établisse ce rapport en rigueur, la même résistance a diminué sans cesse l'inégalité que ce rapport a fait naître, et enfin l'a rendue insensible. On ne peut mieux comparer ces effets qu'au mouvement d'un pendule animé d'une grande vitesse dans un milieu très-peu résistant. Il décrira d'abord un grand nombre de circonférences ; mais à la longue son mouvement de circulation, toujours décroissant, se changera dans un mouvement d'oscillation qui, diminuant lui même de plus en plus par la résistance du milieu, finira par s'anéantir : alors le pendule, arrivé à l'état de repos, y restera sans cesse.

Pierre-Simon de Laplace

*Note on the origin and formation of our planetary system*

Yearbook of the *Bureau des Longitudes* 1867, pages 434–458

Translated from

*Note sur l'origine et la formation de notre système planétaire*

Annuaire pour l'an 1867, publié par le Bureau des Longitudes, pages 434–458

NOTE  
ON  
THE ORIGIN AND FORMATION  
OF  
OUR SOLAR SYSTEM,  
BY LAPLACE.

(Extract from the 'Exposition du Système du Monde', 6<sup>th</sup> edition, 1835)

We have five phenomena available when considering the cause of the early movements of the solar system: the movements of the planets in the same direction, and more or less in the same plane; the movements of their moons in the same direction as those of the planets; the rotational motions of these different bodies and of the Sun, in the same sense as that of their rotation and in similar planes; the limited eccentricity of the orbits of planets and moons; and finally, the great eccentricity of the orbits of comets, as though their inclinations<sup>7</sup> had been left to chance.

Buffon is the only one I know who, since the discovery of the true world system<sup>8</sup>, has tried to trace the origin of planets and moons. He supposes that a comet, falling onto the Sun, released a torrent of matter which gathered at a distance into various globes of different sizes and at different distances from this star. These globes, which became opaque and solid as they cooled, are the planets and their satellites.

This hypothesis satisfies the first of the five preceding phenomena; for it is clear that all bodies thus formed must move approximately in the plane which passed through the center of the Sun and in the direction of the torrent of matter which produced them. The other four phenomena seem to me inexplicable by this proposition. In truth, the absolute

---

<sup>7</sup> [i.e. angles of the planes of their orbits to the ecliptic]

<sup>8</sup> [*le vrai système du monde*, i.e. the Copernican heliocentric system: a reference to Galileo's *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*]

movement of the molecules of a planet would have to be directed in the direction of the movement of its center of gravity; but it does not follow that the rotational motion of the planet would be directed in the same direction: thus, the Earth could turn from east to west, and yet the absolute motion of each of its molecules would be directed from west to east, which must [also] apply to the movement of rotation of the satellites, whose direction, in the hypothesis in question, is not necessarily the same as that of the movement of the planets.

A phenomenon which is not only very difficult to explain by this hypothesis, but which is contrary to it, is the lack of eccentricity of the planetary orbits. We know from the theory of central forces that if a body, propelled in an orbit around the Sun, skims the surface of this star, it will return to it on each of its revolutions; whence it follows that if the planets had been originally detached from the Sun, they would touch it on each return to this star, and their orbits, far from being circular, would be very eccentric. It is true that a torrent of matter, driven out from the Sun, cannot be compared exactly to a globe skimming its surface: the forces exerted on parts of this torrent by other parts, and the reciprocal attraction exerted between them, can, by changing the direction of their movements, move their perihelions away from the Sun. But their orbits must always be very eccentric, or at least they could only by the most extraordinary chance all have had only small

eccentricities. Finally, we do not see at all, in Buffon's hypothesis, why the orbits of more than a hundred comets, already observed, are all very elongated. This hypothesis is therefore very far from satisfying the preceding phenomena. Let's see if it's possible to find out their true cause.

Whatever its nature, since it produced or directed the movements of the planets, it must have encompassed all these bodies, and, given the prodigious distance which separates them, it can only have been a fluid of a huge expanse. To have given them an almost circular movement around the Sun in the same direction, it is necessary that this fluid surrounded this star like an atmosphere. Consideration of the planetary motions therefore leads us to think that by virtue of excessive heat, the Sun's atmosphere initially extended beyond the orbits of all the planets, and that it narrowed down successively to its current limits.

In this supposed primitive state of the Sun, it resembled nebulae that the telescope shows us are composed of a more or less brilliant nucleus, surrounded by a nebulosity which, by condensing on the surface of the nucleus, transforms it into a star. If we conceive, by analogy, all the stars formed in this way, we can imagine their previous state of nebulosity, itself preceded by other states in which the nebulous matter was more and more diffuse, the nucleus being less and less

luminous. We thus arrive, by going as far back as possible, to such a diffuse cloudiness that we could hardly suspect its existence.

For a long time the particular arrangement of certain stars visible to the naked eye has struck philosophical observers. Mitchel has already remarked how unlikely it is that the stars of the Pleiades, for example, collect in the narrow space which encloses them only by chance, and he concluded that this group of stars, and similar groups that the sky reveals to us, are the effects of a primary cause or a general law of nature. These groups are a necessary result of the condensation of nebulae with several nuclei; for it is apparent that the nebulous matter being constantly attracted by these various nuclei, they must form, in the long run, a group of stars similar to that of the Pleiades. The condensation of nebulae with two nuclei will similarly form stars very close together, revolving one around the other, such as double stars, the respective movements of which have already been recognized.

But how did the solar atmosphere determine the rotational and revolving motions of planets and satellites? If these bodies had penetrated deeply into this atmosphere, its resistance would have made them fall on the Sun; we can therefore conjecture that the planets were formed at these successive limits by the condensation of zones of vapours which it [the

solar atmosphere], on cooling, must have given up in the plane of its equator.

Recall the results that we have given in the tenth chapter of the previous book<sup>9</sup>. The Sun's atmosphere cannot extend indefinitely: its limit is the point where the centrifugal force due to its rotational motion is equal to the weight [of objects]; now, to the degree that cooling constricts the atmosphere and condenses the neighboring molecules onto the surface of the star, the rotational movement increases; for, by virtue of the principle of areas<sup>10</sup>, the sum of the areas described by the vector radius of each molecule of the Sun and of its atmosphere, and projected on the plane of its equator, being always the same, the rotation must be more rapid when these molecules move closer to the center of the Sun. Thus as the centrifugal force due to this movement becomes greater, the point at which gravity is equal to it is closer to this center. Assuming therefore, what is natural to admit, that the atmosphere extended at some time to a limit, it has, with cooling, abandoned the molecules located at this limit and successively at the limits produced by increase in the rotation of the Sun. The abandoned molecules continued to circulate around this star, since their centrifugal force was balanced by their weight. But as this equilibrium did not apply at all to the atmospheric molecules which moved parallel with

---

<sup>9</sup> Book IV of *The Exposition of the World System* [Ch. X The atmospheres of celestial bodies]

<sup>10</sup> [i.e. Kepler's second law]

the solar equator; these were drawn in to the atmosphere by their weight as it condensed, and they have continued to belong to it to the extent that by this movement they approached this equator.

Let us now consider the successively abandoned vapour zones. These zones must have, in all likelihood, formed, by their condensation and the mutual attraction of their molecules, various concentric rings of vapours circling around the Sun. The mutual friction of the molecules of each ring must have accelerated some and delayed others, until they acquired the same angular movement. In this way, the real speeds of molecules farther from the center of the star were greater. The following cause must have contributed further to this difference in velocities: the molecules furthest from the Sun, and which, by the effects of cooling and condensation, moved towards it to form the outer part of the ring, always traced out areas proportional to time, since the central force with which they were animated was constantly directed towards this star. Now the principle of constancy of the area demands an increase of speed as they approach it. We see that the same cause must have reduced the speed of the molecules which rose towards the ring to form its inner part.

If all the molecules in a vapour ring continued to condense without breaking up, they would eventually form a liquid or

solid ring<sup>11</sup>. But the uniformity which this formation would require in all parts of the ring and in their cooling must have made this phenomenon extremely rare. Thus the solar system offers only one example, that of the rings of Saturn. Almost always each ring of vapours must have broken up into several masses which, moving with slightly different speeds, continued to circulate at the same distance around the Sun. These masses must have taken on a spheroidal shape, with a rotational movement directed in the direction of their revolution, since the lower molecules had less real speed than the upper ones; they therefore formed a corresponding number planets in vapourous states. But if one of them was powerful enough to unite successively, by its attraction, all the others around its center, the ring of vapours would be thus transformed into a single spheroidic mass of vapours, circulating around the Sun with a rotation directed in the direction of its revolution. The latter case was the most common. However the solar system offers us the [opposite] case in the four small planets which move between Jupiter and Mars<sup>12</sup>, unless one supposes, with M. Olbers, that they originally formed a single planet that a strong

---

<sup>11</sup> [Laplace's use of the same word, *anneaux*, for both the 'concentric rings of vapours' formed from a nebular cloud and for the 'liquid or solid ring' they would form 'if all the molecules in a vapour ring continued to condense without breaking up', of which Saturn's rings provide an 'extremely rare' example, has bedevilled subsequent understanding of his theory]

<sup>12</sup> Laplace only knew four of the telescopic planets which circulate between Jupiter and Mars (Ceres, Pallas, Juno and Vesta).

It was not until long after his death, in 1845, that the number of known planets in this region began to increase.

explosion divided into several parts animated at different speeds.

Now, if we follow the changes which subsequent cooling must have produced in the vapour planets, the formation of which we have just considered, we will witness the birth of a nucleus in the center of each of them, constantly growing by the condensation of the atmosphere which surrounds it. In this state, the planet would look exactly like the Sun in the nebulous state which we considered previously; cooling must therefore have produced at the various limits of its atmosphere phenomena similar to those we have described, that is to say rings and satellites circulating around its center, in the direction of its rotational movement, and turning in the same direction on themselves. The regular distribution of the mass of the rings of Saturn, around its center and in the plane of its equator, results naturally from this hypothesis, and without it becomes inexplicable: these rings seem to me to be persisting proofs of the primitive extension of the atmosphere of Saturn, and its successive retreats. Thus the peculiar phenomena of the low eccentricity of the orbits of planets and [their] moons, of the small inclination of these orbits to [that of] the solar equator, and of the identity of the direction of the movements of rotation and revolution of all these bodies with that of the rotation of the Sun, follow from the hypothesis we propose, and give it a high

probability, which can be further increased by the following consideration:

All the bodies which circulate around a planet having been, according to this hypothesis, formed from zones which its atmosphere has successively abandoned, and their rotational movement having become more and more rapid, the duration of this movement must be less than those of the revolution of these different bodies, which is similar for the Sun compared to the planets<sup>13</sup>. All this is confirmed by observations. The duration of the revolution of the ring closest to Saturn is, according to the observations of Herschel, 0.438 days, and that of the rotation of Saturn is only 0.427 days. The difference of 0.011 days is minor, as it should be, because the part of Saturn's atmosphere which the decrease in temperature has deposited on the surface of this planet since the formation of the ring having been little, and coming from a small height, must have increased the rotation of the planet only slightly.

If the solar system had formed with perfect regularity, the orbits of the bodies which compose it would be circles the plane of which, as well as those of the various equators and rings, would coincide with the plane of the solar equator. But we can

---

<sup>13</sup> Kepler, in his work *De motibus stellæ Martis*, explained the movement of all the planets in the same direction by means of immaterial species emanating from the surface of the Sun, and which, preserving the rotational movement that they had on the surface, imprint this movement on the planets. He concluded that the Sun revolves on itself in a shorter time than that of the revolution of Mercury; which Galileo recognized soon after by observation. Kepler's hypothesis is undoubtedly inadmissible; but it is remarkable that he made the identity of the direction of the planetary movements dependent on this rotation of the Sun, so natural does this tendency appear.

imagine how the innumerable variations which must have existed in the temperature and density of the various parts of these great masses would produce the eccentricities of their orbits and the deviations of their movements from the plane of this equator.

According to our hypothesis, comets are foreign to the planetary system. Considering them, as we have done, as little nebulae wandering from system to solar system, and formed by the condensation of the nebulous matter so widely distributed in the universe, we see that when they arrive in the part of space where the attraction of the Sun is predominant, it forces them to follow elliptical or hyperbolic orbits. But their speeds being equally possible in all directions, they must move indifferently in all directions and with all inclinations to the ecliptic, which is consistent with what we observe. Thus the condensation of nebulous matter, by which we have just explained the movements of rotation and revolution of planets and satellites in the same direction and on similar planes, also explains why the movements of comets deviate from this general law.

The great eccentricity of cometary orbits is again a result of our hypothesis. If these orbits are elliptical, they are very elongated, since their major axes are at least equal to the radius of the sphere of activity of the Sun. But these orbits can be

hyperbolic, and if the axes of these hyperbolas are not very large in relation to the mean distance from the Sun to the Earth, the motion of the comets which follow them will be noticeably hyperbolic. However, out of at least a hundred comets of which we already have knowledge, none has appeared to move in a hyperbola; the chance of an observable hyperbola must therefore be extremely rare compared to the contrary. Comets are so small that they only become visible when their perihelical distance is small. So far, this distance has only exceeded twice the diameter of the Earth's orbit, and most often it has been less than the radius of this orbit. We can appreciate that in order to approach so close to the Sun, their speed, at the moment of their entry into its sphere of activity, must have a magnitude and a direction within narrow limits. By determining by the analysis of probabilities the ratio of the chances, within these limits, of an observable hyperbola to the chances of an orbit that can be confused with a parabola, I found that there are more than six thousand chances to one than a nebula which penetrates into the sphere of activity of the Sun, so as to be able to be observed, will follow either a very elongated ellipse, or a hyperbola which, by the magnitude of its axis, will resemble a parabola in the part [of its course] in which it can be observed; it is therefore not surprising that so far no hyperbolic movements have been recognized.

The attraction of the planets, and perhaps even the resistance of the ethereal media, must have changed several cometary orbits into ellipses whose major axis is much less than the radius of the Sun's sphere of activity. This could also occur due to an encounter with one of these asteroids; for it follows from our hypothesis on their formation that there must be a prodigious number of them in the solar system, of which only those which come close enough to the Sun can be observed. We might suppose that such change took place in the orbit of the comet of 1759, the major axis of which exceeds only thirty-five times the distance from the Sun to the Earth. An even greater change happened to the orbits of the comets of 1770 and 1805.

If comets penetrated the atmospheres of the Sun and the planets at the time of their formation, they must have, spiralling down on these bodies, by their impact, pushed the planes of their orbits and the equators of the planets out of the plane of the solar equator.

If, in the zones abandoned by the Sun's atmosphere, there are molecules which are too volatile to unite with each other or with the planets, they must, by continuing to circulate around this star, provide the appearance of the zodiacal light, without providing detectable resistance to the various bodies of the planetary system, either because of their extreme rarity, or

because their movement is very nearly the same as that of the planets they encounter.

A close examination of all the circumstances of this system further increases the probability of our hypothesis. The primitive fluidity of the planets is clearly indicated by the flattening of their figure, in accordance with the laws of mutual attraction of their molecules; it is, moreover, proven for the Earth, by the regular decrease<sup>14</sup> in gravity, going from the equator to the poles. This state of primitive fluidity, to which we are led by astronomical phenomena, must manifest itself in those which natural history<sup>15</sup> presents to us. But to recognise it, it is necessary to take into consideration the huge variety of combinations formed by all the earthly substances mixed up in the vapourous state when the reduction in temperature allowed its elements to unite; we must then consider the prodigious changes that this lowering must have successively brought about in the interior and on the surface of the Earth, in all its products, in the composition and the pressure of the atmosphere, in the Ocean and in the substances dissolved in it. Finally, we must have regard to sudden changes, such as large volcanic eruptions, which must have disturbed at various times the regularity of these changes. Geology, interpreted

---

<sup>14</sup> *To be read as* the increase.

<sup>15</sup> [*histoire naturelle*, studies of 'natural' phenomena, as opposed to astronomy]

from this point of view, which links it to Astronomy, will be able on many points to acquire precision and certainty from it.

One of the strangest phenomena about the solar system is the exact matching observed between the angular movements of rotation and revolution of each moon. The odds are infinity against one that this is not the effect of chance. The theory of universal gravity eliminated the infinite improbability of this by showing us that it is sufficient for the existence of the phenomenon, that originally there was little difference in these movements. Then the attraction of the planet established perfect equality between them, but at the same time gave birth to a periodic oscillation in the axis of the satellite directed towards the planet, an oscillation whose extent depends on the original difference of the two movements. Mayer's observations on the Moon's libration, and those which MM. Bouvard and Nicollet have just made on the same subject, at my request, having not shown any such oscillation, the difference on which it depends must be very small, which indicates, with an extremely high probability, a special cause which first constrained this difference within very narrow limits where the attraction of the planet was able to establish a tight equality between the average movements of rotation and of revolution, and which then ended up destroying the oscillation which this equality gave rise to. Both of these effects are follow from our hypothesis; because it is conceivable that the Moon, in a

vapourous state, formed, under the Earth's powerful attraction, an elongated spheroid, the major axis of which must have been always pointed towards this planet, because of the ease by which the vapours were affected by even the smallest forces. The terrestrial attraction, continuing to act in the same way as long as the Moon was in a fluid state, must have in the long run, by constantly bringing the two movements of this satellite closer together, made their difference fall within the limits where complete matching began to occur. Then, this attraction must have gradually annihilated the oscillation that this equality produced in the long axis of the spheroid directed towards the Earth. It is [also] in this way that the fluids which cover this planet have, by their friction and their resistance, eliminated the primitive oscillations of its axis of rotation, which now is now only subject to the nutation resulting from the actions of the Sun and the Moon. It is easy to convince oneself that the equality of the movements of rotation and of revolution of moons must have formed an obstacle to the formation of rings and secondary satellites by the atmospheres of these bodies. However observations has so far indicated nothing of the kind.

The movements of the first three satellites of Jupiter present a phenomenon even more extraordinary than the preceding, which consists of the fact that the mean longitude of the first, less three times that of the second, plus twice that of the third, is

always equal to two right angles. The odds that this correspondence is not due to chance are infinity against one; but we have seen that to produce it is sufficient that the mean movements of these three bodies originally came very close to satisfying a relationship by which the mean movement of the first, less three times that of the second, plus twice that of the third, is zero. Then their mutual attraction established this relationship exactly, and moreover, it maintained an exact equality between the half-circumference [of Jupiter] and the average longitude of the first satellite less three times that of the second plus twice that of the third. At the same time, it gave rise to a periodic fluctuation which depends on the small amount by which the mean movements originally deviated from the relationship which we have just stated. In spite of the care Delambre has taken to detect this inequality by observation, he has not been able to, which proves its minuteness, and which, consequently, indicates with very great probability that something has made it disappear. According to our hypothesis, the satellites of Jupiter, immediately after their formation, were not moving in a vacuum: the most volatile molecules of the primitive atmospheres of the Sun and of the planet formed at that time a thin medium, the resistance of which, different for each of these bodies, gradually brought the mean movements closer to the relationship in question; and when these movements had thus reached the conditions

required for the mutual attraction of the three satellites to fix this relationship permanently, the same resistance progressively reduced the inequality that this relationship has created, and finally made it undetectable. These effects cannot be better illustrated than by the movement of a pendulum activated at great speed in a medium of very little resistance. It will first describe a series of circumferences; but over time its cyclic movement, always decreasing, will change to an oscillation which, itself diminished more and more by the resistance of the medium, will end up being annihilated: then the pendulum, arriving at a state of rest, will remain there constantly.