

MARTINS, Roberto de Andrade. Kant e Laplace: a formação do sistema solar. In: O universo: teorias sobre sua origem e evolução. São Paulo: Editora Moderna, 1994. Obra esgotada. Atualmente disponível em <http://www.ifi.unicamp.br/~ghhc/Universo/intro.html>

CAPÍTULO 7 - KANT E LAPLACE: A FORMAÇÃO DO SISTEMA SOLAR

7.1 AS LEIS DA NATUREZA

Após a crítica de Newton, a teoria de Descartes vai gradualmente perdendo a aceitação que tinha. No entanto, durante muito tempo, não surge uma alternativa. A questão da origem do universo volta a ser um problema puramente religioso. Há algumas tentativas isoladas: Georges Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), por exemplo, propõe uma explicação para a formação do sistema solar. Ele supõe que um cometa passou perto do Sol, ou se chocou com ele, e arrancou um jato de matéria, que começou a girar em torno do Sol e formou os planetas. Mas essa proposta não teve o mesmo grau de importância da teoria de Descartes.



Immanuel Kant, importante filósofo do século XVIII.

A tentativa posterior mais interessante de tentar desenvolver uma teoria sobre a origem do universo, a partir da física de Newton, é feita pelo famoso filósofo Immanuel Kant. Kant apresenta sua teoria em uma obra publicada em 1755 e que tem o longo título: “História Geral da Natureza e Teoria do Céu, ou Ensaio sobre a Constituição e a Origem Mecânica do Universo em sua Totalidade, de Acordo com os Princípios de Newton”.

O objetivo de Kant, nessa obra, é mostrar que basta aceitar as leis da física newtoniana e fazer algumas hipóteses simples sobre o estado inicial do universo, para chegar a uma explicação do universo atual. Mas, antes de expor suas idéias, ele se defende de qualquer acusação de ateísmo. Kant afirma que a ordem e a beleza que vemos no universo não são uma indicação direta de que Deus estabeleceu, na criação do mundo, essa ordem. A ordem que observamos, diz Kant, vem de um desenvolvimento natural da matéria do universo. Mas ele adiciona: toda ordem e beleza do

universo é causada pelas leis naturais; e essas leis naturais não podem ter surgido por si próprias do nada. Assim, a própria existência das leis naturais que dirigem a evolução do universo seria uma forte indicação da existência de Deus e da sabedoria divina.

Kant conhece muito bem os filósofos antigos, e diz expressamente que sua teoria tem boa semelhança com a dos antigos atomistas – Leucipo, Demócrito, Epicuro e Lucrecio. Mas, enquanto os atomistas vêem no universo apenas o resultado do acaso, Kant vê o resultado da ordem e de leis.

É relevante chamar a atenção, aqui, para a própria idéia de “leis da natureza”. A idéia de “leis” vem de um conceito social: existem leis que devem ser obedecidas pelas pessoas. Na Antigüidade, as leis sociais eram imaginadas como sendo ordens estabelecidas pelos deuses, e que por isso deviam ser obedecidas. A divindade não só estabelecia leis para os homens, como também para todas as coisas do universo, estabelecendo como os astros deveriam se mover, como as plantas e animais deveriam se reproduzir, etc. Quando foram criados os governos democráticos, as leis sociais passaram a ser vistas como escolhas ou convenções das próprias pessoas.

Mas e as leis da natureza? Por que elas existem? Pode-se dizer que a própria Natureza estabeleceu as suas leis? Se fizermos isso, estaremos considerando a natureza como um tipo de deus, que toma decisões e estabelece suas leis. Por que as coisas acontecem de um modo e não de outro? Por que as pedras caem ao invés de subir? Ou por que elas não deveriam algumas vezes cair, outras vezes subir, outras vezes mover-se para um lado?

Para os antigos atomistas, tudo ocorre por acaso, mas o acaso acaba levando a regularidades. No entanto, eles admitem que, em diferentes pontos do espaço infinito, poderiam surgir mundos totalmente diferentes do nosso. Esse é um ponto em que Kant vai se afastar totalmente dos atomistas. Pois ele vai tentar mostrar que as leis da natureza levam necessariamente a sistemas parecidos com o nosso, em todas as partes do universo; e que existe, então, uma ordem geral, e não um acaso. É essa ordem mais geral – a existência de leis válidas em todo o universo – que Kant considera como representando a interferência de Deus no mundo.

A ciência moderna não discute por que existem leis na natureza. A ciência procura quais são as leis da natureza, sem se perguntar se existem essas leis, pois elas parecem existir; e não se preocupa em entender o motivo pelo qual existem leis: Seria por uma decisão de Deus? Ou seria por algum outro motivo? Ou por acaso? Essas questões ultrapassam o próprio campo da ciência, e não são respondidas pelos cientistas.

7.2 O SISTEMA DE ESTRELAS E A VIA-LÁCTEA, SEGUNDO KANT

Voltemos a Kant. No seu livro sobre a “Teoria do Céu”, ele inicialmente descreve os fatos astronômicos conhecidos e sua explicação por Newton. Ao descrever o sistema solar, ele chama a atenção para a existência de “luas” em torno dos maiores planetas que eram conhecidos. Também chama a atenção para o fato de que os planetas se movem quase em um só plano, mas que os cometas possuem movimentos que se afastam muito desse plano.

Depois, Kant discute as estrelas. Ele admite que são corpos muito distantes, semelhantes ao Sol, e que podem ter planetas à sua volta. Mas vai introduzir uma idéia nova. Ao invés de admitir que as estrelas estão espalhadas pelo espaço todo ao acaso, ele vai defender a idéia de que as estrelas estão agrupadas e formam sistemas semelhantes a um gigantesco sistema solar.

Kant não é o primeiro a pensar assim. Ele próprio diz que está utilizando uma proposta apresentada pouco tempo antes pelo inglês Thomas Wright. Mas Kant justifica muito bem essa idéia. Ele começa chamando a atenção para a existência da Via Láctea. Nós, que vivemos em cidades, ao olhar para o céu, vemos poucas estrelas durante a noite. Mas no campo, longe das cidades, é possível ver, nas noites sem luar, um número enorme de estrelas e, além disso, uma faixa luminosa, fraca mas bem nítida, que atravessa todo o céu. Essa faixa é a Via Láctea. Ela não é uma nuvem ou qualquer fenômeno atmosférico. Essa faixa se prolonga por todo o céu, formando uma espécie de anel à nossa volta.



A Via Láctea é uma faixa constituída por um grande adensamento de estrelas, formando um anel em torno da esfera celeste.

O nome “Via Láctea”, ou caminho de leite, é apenas um dos nomes tradicionais desse fenômeno celeste. Outro nome, de origem grega, é “galáxia”, a partir da palavra grega “gala”, que significa leite . Os dois nomes descrevem a aparência leitosa dessa faixa celeste. Galileo já havia observado a Via Láctea ao telescópio, em 1610, fazendo a seguinte descrição:

A galáxia é, de fato, apenas uma reunião de inúmeras estrelas agrupadas. Para qualquer lado que se dirija o telescópio, apresenta-se imediatamente à visão uma multidão de estrelas. Muitas dessas são bastante grandes e brilhantes, enquanto que o número das menores está além de qualquer cálculo.

Kant observa que a existência da Via Láctea mostra que as estrelas não estão espalhadas ao acaso no espaço. Elas parecem formar uma camada relativamente fina, no espaço. É verdade que nem todas as estrelas estão na Via Láctea; mas mesmo as estrelas que parecem separadas da Via Láctea estão mais concentradas em torno dela: existem mais estrelas próximas a essa faixa do que distantes dela.

Kant propõe, então, que todas as estrelas que vemos pertencem a uma espécie de sistema solar gigantesco. Nesse sistema, ao invés de planetas, haveria milhares de estrelas girando em torno de um centro. Todas essas estrelas estariam próximas a um certo plano, assim como os planetas se movem em torno do Sol praticamente em um único plano. O Sol, sendo uma estrela, estaria também dentro desse sistema girante de estrelas e, por estar próximo também a esse plano, vemos a partir daqui essa faixa de estrelas cercand-nos como se fosse em um anel. Assim como no sistema solar os planetas não se movem exatamente em um plano, os sistema de estrelas também não é totalmente achatado, mas tem estrelas que se afastam um pouco desse plano principal. Essas são as estrelas que observamos fora da Via Láctea.



Kant supôs, em meados do século XVIII, que a Via Láctea seria um gigantesco disco de estrelas. As galáxias NGC224 (esquerda) e NGC4594 (direita), fotografadas dois séculos mais tarde, mostram a estrutura imaginada por Kant.

Se fosse possível ver esse conjunto de estrelas de fora dele – e não de dentro, do ponto onde estamos – ele pareceria um disco, de pequena espessura, luminoso e girando.

Kant dá um motivo muito importante para se acreditar nesse grande sistema em rotação: se as estrelas estivessem inicialmente paradas umas em relação às outras, elas não poderiam ficar paradas para sempre, pois existe a atração gravitacional entre elas. Embora elas estejam muito distantes umas das outras, essa força deve existir e acabaria por atrair e aproximar todas as estrelas entre si; elas se chocariam e haveria uma destruição total.

Como vimos, Newton havia pensado nesse problema, mas havia dito simplesmente que Deus havia colocado as estrelas muito distantes umas das outras para que isso não acontecesse. A idéia de Newton não é muito boa: por maior que seja essa distância, a atração deve existir e, em um tempo infinito, acabaria por aproximar todas as estrelas e fazer com que elas se chocassem umas com as outras. Mas, admitindo-se que elas giram em torno de um centro comum, essa rotação as mantém afastadas, ao invés de se unirem e se destruírem.

A proposta de Kant é muito interessante, e totalmente em harmonia com a física newtoniana. Mas ele vai mais longe: ele vai indicar outras evidências de que existe esse sistema de estrelas, estudando as nebulosas.

Na época de Kant, eram conhecidas no céu as “nebulosas”: certos corpos celestes que, vistos ao telescópio, pareciam pequenas nuvens muito distantes, com um brilho fraco. Daí vinha seu nome (“nebula” = nuvem ou névoa, em latim). Kant chama a atenção, primeiramente, para a forma das nebulosas descritas pelo matemático Maupertuis: elas eram vistas com uma forma aproximadamente elíptica. Maupertuis acreditava que elas eram estrelas muito grandes e que tinham uma forma achatada por estarem girando rapidamente. Mas Kant coloca em dúvida essa interpretação: se fossem estrelas gigantescas, elas não deveriam ser mais brilhantes do que qualquer outra estrela, que parece um simples ponto vista ao telescópio? Kant sugere, então, que as nebulosas elípticas sejam imensos conjuntos de estrelas, mas tão distantes que não é possível ver separadamente essas estrelas.

Esses conjuntos seriam exatamente semelhantes àquilo que Kant concebe para as estrelas que nos cercam: imensos conjuntos de estrelas, formando uma espécie de disco de pequena espessura. Se esse disco for visto de um certo ângulo, ele terá a aparência de uma elipse e não de um círculo. Essa era, exatamente, a aparência das nebulosas elípticas. Portanto, a existência das nebulosas é uma confirmação das idéias de Kant.



As nebulosas também foram objeto de estudo de Kant. Acima, uma fotografia da nebulosa Carina.

Muito depois, quando essas idéias foram aceitas, o nome “galáxia” foi generalizado para todos esses enormes grupos de estrelas, que ficam fora de nosso sistema.

Assim, existiriam no universo diferentes sistemas de corpos celestes. Os menores de todos seriam os planetas com suas luas, que podem ser comparados com sistemas solares em miniatura. Depois, em tamanho, haveria o sistema solar e, provavelmente, sistemas semelhantes em torno de outras estrelas. Depois, os grandes sistemas formados por milhares de estrelas, girando em torno de um centro comum, como o conjunto de estrelas da Via Láctea ou os conjuntos de estrelas das nebulosas. Kant chega a sugerir que podem existir sistemas ainda maiores, constituídos por conjuntos de nebulosas girando em torno de um centro.

7.3 A ORIGEM DO SISTEMA SOLAR

Até aqui, Kant está descrevendo a sua visão de universo, e não está ainda tentando explicar a sua origem. Essa primeira parte de seu trabalho é bastante bem fundamentada e muitas de suas idéias são aceitas atualmente.

Na segunda parte de seu livro, Kant procura discutir a origem dos corpos celestes. Ele não aceita que a concordância dos movimentos de todos os planetas do sistema solar seja um acaso; deve ter existido alguma causa que fez com que todos se movessem quase no mesmo plano e no mesmo sentido. Mas que causa seria essa?

O espaço celeste parece vazio; não se observa nada, entre os planetas, que pudesse ser a causa desse seu movimento. A teoria dos turbilhões de Descartes não pode ser aceita. Porém, é preciso admitir que, quando os planetas começaram a se mover, devia existir alguma causa que os moveu dessa maneira. Embora o espaço interplanetário seja atualmente vazio, ele poderia não ser vazio antes. Assim, se houvesse inicialmente uma matéria preenchendo inicialmente todo o sistema solar, essa matéria poderia ter determinado o movimento posterior dos planetas.

Kant apresenta então sua hipótese básica: inicialmente, toda a matéria que atualmente constitui os corpos celestes estaria espalhada uniformemente pelo espaço, formando um caos inicial.

Eu suponho que, no começo de todas as coisas, todas as matérias de que são compostos os globos que pertencem ao nosso mundo solar – todos os planetas e cometas, decompostos em sua matéria primordial elementar – enchem todo o espaço do universo no qual eles atualmente giram. Esse estado da natureza parece ser o mais simples que possa existir, depois do nada, se considerarmos essa idéia em si mesma, sem pensar em nenhuma teoria. Nesse tempo, nada havia se formado. A composição dos corpos celestes, distantes uns dos outros, seus afastamentos, e sua forma que resulta do equilíbrio da matéria reunida são um resultado mais tardio. A natureza, imediatamente saída da criação, era tão grosseira e tão sem forma quanto possível. No entanto, nas propriedades essenciais dos elementos que formam o caos, já se pode encontrar o sinal dessa perfeição que eles adquirem de sua origem, pois sua essência é uma conseqüência da idéia eterna da razão divina. As propriedades mais simples, as mais gerais que parecem ter sido esboçadas sem nenhuma intenção, nessa matéria que parece ser somente passiva e não ter forma nem organização, possuem em seu estado mais simples uma tendência a se transformar em uma constituição perfeita, por um desenvolvimento natural.

Os átomos de Epicuro e Lucrecio eram capazes, apenas, de se moverem e se chocarem uns contra os outros. Mas as partículas da matéria, para Kant, possuem uma natureza muito diferente: elas possuem uma força gravitacional, que atrai umas às outras e tende a reuni-las. Embora a matéria esteja inicialmente parada e espalhada pelo espaço, ela logo vai se mover e começar a se concentrar em torno dos pontos que sejam mais densos, pois a atração será maior nesses pontos.

Se só existisse essa força de atração, diz Kant, o resultado final seria que a matéria se dividiria em um certo número de corpos de maior ou menor massa, formados em torno dos pontos de maior densidade, mas esses corpos ficariam parados uns em relação aos outros. Mas, além da atração gravitacional, existem outras forças. Kant aceita a existência de forças repulsivas, que seriam a causa, por exemplo, da expansão dos gases e dos vapores, cujas partículas tendem a se espalhar, ao invés de se aproximarem. Essa força repulsiva poderia produzir efeitos diferentes, desviando as partículas, quando elas se aproximam umas das outras:

Por essa força de repulsão que se mostra na elasticidade dos vapores, na emanção dos corpos que possuem odor forte e na expansão de todas as matérias sutis, e que é um fenômeno incontestável da natureza, os elementos, ao caírem em direção ao ponto de atração respectivo, são desviados lateralmente do movimento retilíneo, e a queda em linha reta se transforma em movimentos circulares que cercam o ponto central.

Kant supõe que a massa central vai aumentando, pela queda de matéria atraída gravitacionalmente. Isso, por sua vez, aumenta a força atrativa do centro. As partículas em queda, na sua maioria, caíam ao corpo central. Mas algumas poderiam sofrer desvios em sua queda, devido à repulsão produzida por outras partículas. Sendo desviadas, elas já não caem diretamente em direção ao corpo central, mas adquirem trajetórias inclinadas, que fazem com que elas circulem em torno do centro.

Inicialmente, poderiam surgir desvios para todos os lados, de tal forma que o corpo central ficaria cercado por partículas circulando à sua volta em todas as direções. Mas as partículas começariam a colidir umas com as outras e, se seus movimentos forem contrários, eles se atrapalharão. As partículas poderão perder seu movimento e cair. Com o passar do tempo, vão sobrar apenas as partículas que se movam no mesmo sentido, em torno de um mesmo eixo, e que não se atrapalhem.

Este é um ponto fraco da teoria de Kant, mas é uma parte essencial de sua hipótese. Se existe um centro de densidade maior, que vai atrair as partículas que estão por todos os lados em sua volta, essas partículas devem ir se aproximando desse centro. Se elas tiverem algum tipo de força de repulsão entre elas, isso pode produzir desvios dos seus movimentos, mas não irá fazer com que todas elas comecem a girar para um mesmo lado. Esses desvios ocorreriam para todos os lados e, em média, deveriam se anular. A idéia da força repulsiva não serve para explicar a origem da rotação da matéria.

Mas vamos prosseguir. Kant supõe que, à medida que os movimentos vão ficando todos em um mesmo sentido, forma-se uma espécie de nuvem de partículas girando em torno do centro. Embora sejam todos no mesmo sentido, seus movimentos não são paralelos, pois as partículas ainda cercam o corpo central por todos os lados. Kant mostra que elas devem tender a se agrupar em uma região cada vez mais estreita, como se a nuvem fosse diminuindo de espessura e se transformando em um disco fino, que gira em torno do corpo central. Esse centro, que agora acumulou quase toda a matéria que estava à sua volta, é o que vai originar uma estrela. O disco de partículas que giram à sua volta é que vai produzir os planetas.

Quando a situação chega a esse ponto, as partículas que giram em torno do corpo central possuem trajetórias circulares e suas velocidades dependem da distância ao centro, de acordo com a terceira lei de Kepler: o quadrado do período de rotação é proporcional ao cubo da distância ao centro. No entanto, se imaginarmos duas faixas próximas umas à outra, elas se movem quase com a mesma velocidade, ou seja, as partículas próximas estão quase em repouso relativo. E como elas se atraem gravitacionalmente, elas vão começar a se aproximar e unir em torno de algumas regiões que possuem maior densidade. Ocorre assim a formação de certos corpos – os planetas – que vão aumentando sua massa e que continuam a girar em torno do centro. Como toda a matéria girava no mesmo sentido e como ela formava uma nuvem de pequena espessura, todos os planetas irão girar em torno da estrela no mesmo sentido e suas órbitas ficarão todas praticamente em um mesmo plano.

Kant supõe que a matéria que estava inicialmente espalhada pelo espaço continha todos os tipos de elementos materiais, misturados entre si. Essa matéria inicial era muito rarefeita – uma espécie de gás muito diluído, com uma densidade milhões de vezes menor do que o ar de nossa atmosfera. Mas o volume em que essa matéria estava espalhada era uma esfera com raio maior do que a distância entre o Sol e os planetas mais distantes e, por isso, a massa total era muito grande. Praticamente toda ela cai para o centro – e a massa do Sol é, por isso, segundo a avaliação de Kant, 650 vezes maior do que a soma das massas de todos os planetas.

Quando as partículas da matéria vão sendo atraídas e caem para o centro, Kant imagina que as de maior densidade são mais difíceis de serem desviadas de sua queda e, por isso, devem chegar até uma região mais próxima do centro, antes de começar a girar em torno do centro. As de menor densidade, pelo contrário, poderiam ser desviadas facilmente e poderiam ficar girando a uma maior distância do centro. Em todas as regiões, haveria sempre uma mistura de partículas de todos os tipos, mas nas regiões mais próximas ao centro haveria uma predominância de partículas mais densas e nas regiões mais distantes haveria uma maior proporção de matéria de menor densidade. Por isso, os planetas não vão ter todos a mesma densidade.

Segundo essa suposição de Kant, os mais próximos ao Sol deverão ter uma densidade média maior e os mais distantes deverão ter uma densidade média menor. Não se conhecia as massas e as densidades de todos os planetas, mas Newton já havia calculado as densidades da Terra, de Júpiter e de Saturno, mostrando que a Terra, que está mais próxima ao Sol, era o mais denso desses três planetas, seguida de Júpiter; e que Saturno, o mais afastado do Sol, tinha a menor densidade. Portanto, isso confirmava a suposição de Kant. Por outro lado, como a mesma matéria que formou os planetas serviu também para formar o Sol, Kant avalia que a densidade do Sol deve ser aproximadamente igual à média da densidade de todos os planetas. Utilizando um cálculo feito recentemente por Buffon, Kant indica que isso era confirmado pelas observações.

A formação de luas ou satélites em torno dos planetas também poderia ser explicada: em torno de cada planeta em formação existe matéria que vai sendo atraída, mas essa matéria pode se aglomerar e formar grandes corpos, antes de cair sobre o planeta. Podem se formar, assim, “luas”, que ficam girando em torno do planeta. Somente os planetas de maior massa seriam capazes de produzir a atração suficiente para isso. Assim, Kant explica que só existiriam “luas” em torno da Terra, de Júpiter e de Saturno[1].

Kant explica o calor e a luz do Sol supondo que ele é, literalmente, um fogo. Ele supõe que, dentre todas as matérias que compuseram o Sol, havia uma grande proporção de partículas de baixa densidade e que podem ser queimadas. Supõe também que existe no Sol algum tipo de atmosfera, para que possa ocorrer a queima das substâncias. Se o material do Sol está sendo queimado, em algum instante deve terminar todo seu combustível. Essa conclusão é necessária, mas Kant parece não gostar muito dela. Ele tenta imaginar vários mecanismos pelos quais poderia ser prolongada a queima do Sol. Supõe que, quando ele estivesse se esgotando, poderia haver a queda de planetas no Sol, e isso lhe daria uma nova quantidade de material para queimar. Poderia então ocorrer um aumento brusco de seu calor, e ele poderia explodir, espalhando em volta, de novo, toda a matéria. Então, começaria tudo de novo.

[1] Na época, não eram conhecidos os satélites de Marte, que são muito pequenos, e nem os planetas mais distantes que Saturno (Urano, Netuno e Plutão).

7.4 A ESTRUTURA DO UNIVERSO

Depois de descrever como pode ter se formado o sistema solar, ele afirma que a mesma coisa deve ter acontecido por todo o espaço, em torno de outros centros, criando as estrelas e seus sistemas de planetas. Por outro lado, ele supõe que um fenômeno análogo deve ter ocorrido em uma escala muito maior. Pois, à medida que as estrelas vão se formando, elas também se atraem umas às outras. Se nada as impedisse de se aproximarem umas das outras, acabariam por colidir e destruir-se.

Kant indica uma causa capaz de impedir isso. Poderiam existir certas concentrações muito maiores da matéria inicial, que formariam corpos muito maiores do que as estrelas que conhecemos, e que iriam atraindo toda a matéria em volta; pelo processo já descrito, essa matéria poderia ganhar uma rotação. Assim, as estrelas iriam se formando dentro dessa matéria em rotação, como os planetas se formam na matéria que gira em torno da estrela central. Assim como os planetas não caem em direção ao centro, as estrelas também não cairiam em direção ao corpo central, pois estão girando em torno dele. Esse conjunto de estrelas girando em torno do centro é que constituiria a nossa Via Láctea, assim como as nebulosas em forma de elipse.

Kant supõe que no centro de cada sistema de estrelas deve existir um corpo que tem uma atração gravitacional gigantesca, uma estrela imensa e muito brilhante. Ele sugere que Sirius, a estrela mais brilhante do céu, poderia ser o centro de todo o nosso sistema de estrelas.

Mas Kant vai ainda mais longe. Ele não se contenta com a descrição da formação do sistema solar e quer explicar a formação de todo o universo. Ele concebe que Deus criou inicialmente um espaço infinito, todo ele cheio de matéria, pois o poder infinito de Deus ficaria sem uso se ele criasse um universo finito. Essa matéria inicial é um caos, no sentido de uma mistura de todos os tipos de matéria, sem nenhuma ordem, nenhuma estrutura ou organização. A matéria está inicialmente parada, mas possui dentro dela as sementes da organização, pois possui forças, dadas por Deus, que vão estruturar tudo.



Fotografia de Sirius, suposto centro do nosso sistema de estrelas, segundo Kant.

A organização começaria a ocorrer no universo todo em torno de um centro de atração. Um universo infinito não pode ter um centro; mas Kant supõe que Deus escolheu uma certa região do universo para ser o ponto a partir do qual começaria a organização do caos. Essa seria uma região de maior densidade. Ele supõe que, embora o espaço infinito seja todo cheio de matéria, sua densidade vai diminuindo desse “centro” para os pontos mais distantes. Como as atrações dependem da densidade, todos os fenômenos vão começar a ocorrer mais rapidamente em pontos próximos a esse centro de maior densidade, e só depois, gradualmente, vão ocorrendo movimentos semelhantes nos pontos mais distantes. Todo o universo formaria então um sistema único, com uma hierarquia de níveis de organização, formando estruturas sempre semelhantes, mas de diferentes dimensões.

Em torno da região central de maior densidade, começaria a se formar um sistema imenso, de tamanho crescente, em rotação, girando em torno de um corpo central de massa enorme. Dentro dessa matéria girante, à medida que o tempo fosse passando, surgiriam nebulosas elípticas, dentro de cada uma delas surgiriam milhares de estrelas, cada uma com seus planetas e luas. A formação começaria em torno do centro, mas depois as regiões sucessivamente mais distantes também iriam sendo colocadas em movimento e se organizando. Assim, o processo de organização do universo iria ocorrendo sempre. Os primeiros “mundos” (estrelas com planetas) formados próximos ao centro poderiam se extinguir depois de um certo tempo, enquanto outros, cada vez mais distantes, estariam ainda começando a se formar.

Esta é a visão geral que Kant apresenta da formação do universo e de todos os astros. Sua teoria é muito mais detalhada, mas a descrição aqui apresentada permite ter uma idéia sobre seus pontos principais. Vê-se que ele procura utilizar o conhecimento científico de sua época – tanto as observações astronômicas, quanto as teorias da física. Ele não se contenta com uma descrição vaga, mas muitas vezes procura fazer cálculos que permitam comparar sua proposta com o que existe no universo. Em grande parte, a teoria é apenas descritiva e qualitativa, mas pode ser considerada como um grande avanço, comparada com a de Descartes. Através de suas intuições sobre o universo, Kant conseguiu sugerir várias idéias que são atualmente aceitas.

A teoria de Kant quase não teve repercussão, em sua época. O motivo principal foi que seu livro foi pouco lido. Ocorreu que a gráfica que imprimiu a primeira edição desse livro foi à falência logo depois da publicação, e o livro não chegou a ser distribuído. Todo o estoque da obra desapareceu, depois, tendo circulado pouquíssimas cópias. Kant divulgou parte de suas idéias em outras obras, mas uma segunda edição só foi publicada no final do século XVIII. Assim, a falta de divulgação fez com que o impacto desse livro, na época, fosse muito pequeno.

7.5 A TEORIA DE LAPLACE



Pierre Simon de Laplace.

No final do século XVIII, surge uma importante teoria, proposta por Laplace – famoso matemático e físico. Essa teoria foi publicada em 1796, ou seja, quarenta anos após o livro de Kant. Pierre Simon de Laplace (1749-1827) propõe uma teoria que possui certa semelhança com a de Kant, para explicar a origem do sistema solar. Sua teoria se restringe a nosso sistema e não tenta explicar o desenvolvimento do universo como um todo. No entanto, por ter sido um trabalho com grande influência, é importante descrever rapidamente essa teoria.

O ponto de partida de Laplace é a existência de regularidades no sistema solar, que não podem ser obra do acaso. Ele descreve que todos os planetas e seus satélites giram em torno do Sol no mesmo sentido, e quase no mesmo

plano, e calcula que haveria apenas uma chance em duzentos bilhões de que isso pudesse acontecer por acaso. Ele tenta, então, desenvolver uma hipótese que possa explicar os fenômenos astronômicos conhecidos. Imagina que, inicialmente, a matéria que compõe o sistema solar deveria estar espalhada pelo espaço, sob a forma de uma nuvem de altíssima temperatura; e que, à medida que ela fosse esfriando e se contraindo, haveria a formação dos planetas. Essa nuvem, desde o início, é imaginada como algo em rotação, que deveria no início girar muito lentamente.

Laplace imagina que, à medida que essa nuvem vai se esfriando, ela tende a diminuir de volume, como um gás que reduz seu volume quando sua temperatura diminui. Assim, essa nuvem iria se contraindo gradualmente. Quando isso ocorresse, sua velocidade de rotação teria que aumentar. Esse fenômeno é uma consequência de uma lei física, a lei da conservação do momento angular. Pode-se ver um efeito análogo a esse no que ocorre com as bailarinas: se uma bailarina começa a rodar sobre um de seus pés com os braços abertos e, depois, aproxima seus braços do corpo, a velocidade de rotação aumenta muito; afastando novamente os braços, a velocidade diminui. Da mesma forma, a contração da nuvem deveria aumentar sua velocidade de rotação.

À medida que a velocidade de rotação da nuvem fosse aumentando, chegaria um instante no qual a velocidade da parte mais externa da nuvem atingisse um valor tal que essa rotação permitisse que a matéria ficasse em órbita, em torno da região central, e não acompanharia mais a contração do resto da nuvem. Laplace mostra que essa matéria ficaria acumulada como um anel, em torno da região equatorial da nuvem. Seria uma coisa parecida com os anéis de Saturno. Embora essa matéria permanecesse em órbita, o resto da nuvem continuaria a se contrair, e novamente a velocidade da parte externa da nuvem se tornaria suficiente para que a matéria mais externa ficasse em órbita, e assim por diante. Desse modo, à medida que a nuvem fosse lentamente se contraindo, haveria a contínua produção de faixas de matéria abandonadas ao longo do plano do equador da nuvem, criando uma espécie de disco fino, girando em torno da região central.

Após a formação dos anéis, Laplace imagina que eles se quebrariam, e que surgiriam condensações em vários locais, que iriam atraindo a matéria próxima, formando assim os planetas.

Laplace tenta também explicar, por sua teoria, o motivo pelo qual os planetas e seus satélites giram todos no mesmo sentido.

Vê-se, por este curto resumo, que a teoria de Laplace é muito menos ambiciosa do que a de Kant. Ele não pretende estudar o universo como um todo, e nem mesmo discute a natureza de nossa galáxia ou sua rotação. Quer apenas compreender a formação do sistema solar para explicar as características mais gerais do movimento dos planetas.

É muito curioso que, na época de Laplace, são abandonadas algumas idéias de Kant que, atualmente, aceitamos. O estudo das nebulosas, no início do século XIX, parecia indicar que elas eram nuvens gasosas, e não aglomerados de estrelas. Por isso, passou-se a aceitar que as nebulosas eram estrelas ou sistemas solares em fase de condensação, e não imensos sistemas, semelhantes à nossa galáxia. O universo, assim, voltou a diminuir: durante o século XIX, a concepção aceita por quase todos era de que o universo se restringia à nossa galáxia, cercada por um profundo espaço infinito, vazio e negro.

7.6 PROBLEMAS DA TEORIA DE LAPLACE

Mas voltemos ao sistema solar. Embora Laplace fosse um excelente matemático e físico, sua teoria é qualitativa: ele não procura calcular o que deveria ocorrer em cada etapa da evolução da nuvem que vai formar o sistema solar. Mas há algo pior ainda: logo que outros pesquisadores resolveram fazer esses cálculos, notaram que a teoria de Laplace levava a resultados absurdos.

Os dois problemas mais graves são a distribuição de movimento de rotação entre o Sol e os planetas; e o sentido de rotação dos planetas e dos seus satélites. O primeiro problema pode ser assim descrito: no modelo de Laplace, a nuvem inicial já está girando; à medida que ela se contrai, ela vai abandonando uma pequena parte de sua massa sob a forma de anéis, que vão formar os planetas; quase toda a massa inicial vai se concentrar e formar o Sol e, por isso, quase todo o movimento inicial de rotação (o chamado “momento angular”) deveria estar concentrado no Sol. Mas o cálculo mostrou que quase todo o movimento de rotação do sistema solar está nos planetas e não no Sol[1].

[1] O sol tem aproximadamente 99,8% da massa do Sistema Solar, mas apenas 2% do momento angular total do sistema.

É rigorosamente impossível explicar isso utilizando uma teoria semelhante à de Laplace. O segundo problema é que, quando se calcula corretamente o que ocorreria com os planetas, quando eles fosse se formando, pode-se prever que eles deveriam ter uma rotação no sentido inverso ao que é observado, ao contrário do que Laplace havia imaginado. Os satélites dos planetas também deveria girar ao contrário do que se observa.

Há outros problemas com uma teoria semelhante à de Laplace. A formação de planetas a partir do disco de matéria que gira em torno do Sol parece ser muito difícil. Se esse disco se formasse, seria mais provável que a matéria se dividisse em pequenas partículas, e que essas ficassem se movendo em torno do Sol, sem se aglomerar para formar grandes planetas, como foi mostrado pelo físico James C. Maxwell. Além disso, a teoria de Laplace foi criada para explicar as regularidades observadas no sistema solar. Pois bem: depois de seu trabalho, foram descobertos novos planetas e novos satélites, e notou-se que eles giravam ao contrário, violando as regras que haviam sido estabelecidas antes.

Dois planetas descobertos, Urano e Netuno, bem como seus satélites, possuem rotação no sentido oposto ao dos outros planetas (rotação retrógrada). Mesmo Júpiter e Saturno possuem alguns satélites, desconhecidos na época de Laplace, que giram ao contrário dos outros. Como seria possível explicar tudo isso? É claro que uma explicação que possa valer para alguns dos planetas e satélites não vale para os outros. Por isso, uma explicação geral, unificada, sobre os movimentos de todos os planetas e satélites, não é possível.

Vários autores se dedicaram a estudos detalhados de mecânica, para esclarecer alguns pontos da teoria de Laplace. No início do século XX, o astrônomo James Jeans realizou um importante trabalho, estudando as condições físicas para que uma nuvem possa começar a se contrair.

Toda nuvem de matéria é constituída por partículas em movimento. Se a nuvem for muito pequena, essas partículas tendem a se dispersar pelo espaço, espalhar-se ao invés de se reunirem e formarem uma estrela ou planeta. Há, assim, um tamanho mínimo para a nuvem que pode começar a se contrair. Esse tamanho depende da temperatura da nuvem (quanto mais quente, mais difícil é que ela se condense) e da sua densidade (se a densidade for grande, a atração gravitacional também será maior, e será mais fácil que a nuvem se concentre). Jeans deduziu que o raio mínimo R para que ocorra a contração da nuvem é dado por:

$$R_i = (\pi/48)^{1/6} v (\gamma/Gd)^{1/2}$$

onde v é a velocidade média das partículas da nuvem (proporcional à raiz quadrada da temperatura), γ é uma constante que depende do gás, G é a constante de atração gravitacional e d é a densidade da nuvem. É possível também calcular as massas mínimas de uma nuvem capaz de se contrair, pela relação acima e levando em conta que a massa é igual ao produto da densidade pelo volume da nuvem:

$$M_i = (4/3) \pi R_i^3 d$$

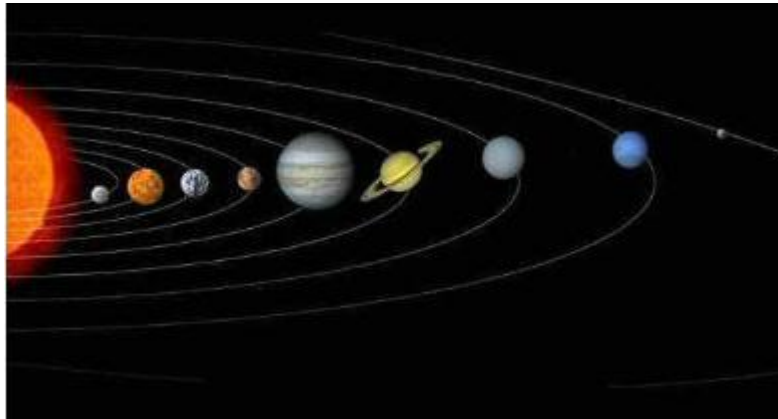
Essa massa mínima depende apenas da densidade e da velocidade das partículas do gás. A altas temperaturas, só podem se concentrar grandes nuvens; a baixas temperatura, nuvens menores. Portanto, a formação das galáxias, que devem ter se originado de grandes nuvens, deve ter ocorrido a uma temperatura mais alta do que a formação das estrelas. Jeans avaliou que a formação das galáxias deve ter ocorrido a uma temperatura de cerca de mil graus, se a densidade inicial de matéria era de cerca de 10 g/cm³. Posteriormente, a temperaturas bem mais baixas, e com uma maior densidade de matéria (no plano equatorial das galáxias), devem ter se formado as estrelas.

É claro que não havia nenhum modo bem fundamentado, na época de Jeans, para avaliar qual poderia ser a temperatura e a densidade de matéria em uma época anterior do universo. Assim, era difícil saber quais valores deviam ser colocados em sua equação. Mas as equações de Jeans, em si mesmas, são até hoje muito úteis, e são usadas dentro de outras teorias mais amplas.

À medida que a teoria de Laplace foi sendo estudada e criticada, surgiram várias tentativas de adaptá-la ou de sugerir outras teorias que explicassem os fenômenos conhecidos do sistema solar. No século XIX e principalmente no século XX, o conhecimento sobre o sistema solar e sobre a natureza dos planetas e seus satélites aumentou muito. Esse aumento de conhecimento, ao invés de facilitar a elaboração de teorias sobre a origem do sistema solar, dificultou muito esse trabalho. De fato: quanto mais se conhece sobre um assunto, mais difícil se torna explicar tudo o que se conhece.

7.7 OUTRAS TENTATIVAS DE EXPLICAR O SISTEMA SOLAR

De Laplace até hoje, houve muitas tentativas diferentes que tentaram explicar a origem do sistema solar. Várias delas foram modificações das idéias de Kant e de Laplace, supondo que uma nuvem inicial produziu tanto o Sol quanto os planetas, sem nenhuma interferência externa de outros corpos. Outras hipóteses imaginaram que os planetas poderiam ter sido produzidos por alguma interferência externa – por exemplo, por uma outra estrela que tivesse passado perto do Sol. Há tantas e tantas hipóteses que é impossível fazer aqui uma lista de todas elas. Vamos apenas dar uma idéia geral sobre elas, sem entrar em detalhes.



No Sistema Solar, todos os planetas giram em torno do sol no mesmo sentido, em órbitas quase circulares e quase no mesmo plano.

Os fatos principais a serem explicados por qualquer teoria de formação do sistema solar são:

a) o fato de que todos os planetas giram em torno do Sol em órbitas quase circulares, todos no mesmo sentido e quase em um plano;

b) a pequena rotação do Sol, comparada com o movimento dos planetas (ou seja: o momento angular do Sol é uma parte muito pequena do momento angular total do sistema);

c) os planetas mais próximos ao Sol, e seus satélites, rodam no mesmo sentido em que giram em torno do Sol; mas os mais distantes não obedecem a essa regra;

d) a composição e densidade dos planetas varia muito, bem como suas massas; os mais próximos do Sol (até Marte) são sólidos, de pequena massa e grande densidade; os seguintes possuem pequena densidade mas grande massa, sendo pelo menos em parte gasosos.

Foram propostas teorias semelhantes à de Laplace (de uma única nuvem, sem interferência externa) de vários tipos, tentando corrigir os problemas da teoria inicial. Por exemplo: em 1885, o astrônomo francês Hervé Faye propôs uma idéia segundo a qual a nuvem preliminar iria se contraindo aos poucos, produzindo o disco equatorial, mas, ao mesmo tempo, dentro da própria nuvem, iriam também sendo produzidas concentrações que originariam alguns dos planetas. Os planetas que se formaram fora da nuvem, no disco equatorial, teriam tido uma rotação retrógrada; mas os que se formaram dentro da nuvem teriam uma rotação normal. Essa hipótese resolvia alguns problemas, mas mantinha outras dificuldades da teoria de Laplace.

Foram feitas outras tentativas de modificação da teoria da nuvem, supondo que os planetas não teriam sido produzidos pela própria nuvem, mas seriam corpos que teriam vindo de fora (como cometas). Eles seriam freitados e capturados pela nuvem apenas se entrassem nela exatamente ou quase exatamente na direção do plano de maior concentração de matéria. Acontece que seria muito difícil imaginar uma nuvem capaz de freiar um planeta como Júpiter; e a teoria não era capaz de explicar como todos os planetas e seus satélites ficaram girando todos no mesmo sentido.

Tentativas mais modernas levaram em conta efeitos bastante complicados que poderiam ter ocorrido na nuvem: influência magnética do Sol sobre as partículas da nuvem; turbulência da nuvem, que produziria o surgimento de muitos pequenos redemoinhos em seu interior; diferentes composições da nuvem, seja considerando que ela era apenas gasosa ou que já possuía partículas sólidas em seu interior; e muitas outras modificações. Cada uma dessas tentativas foi capaz de resolver algumas questões, mas nenhuma foi capaz de explicar os principais fatos do sistema solar.

Em outras teorias, a origem dos planetas é considerada como o resultado de uma influência externa. Supõe-se nessas teorias que uma estrela ou outro corpo semelhante (um enorme cometa, por exemplo) colidiu ou passou muito perto do Sol, arrancando dele um jato de matéria, de onde teriam se formado os planetas. Ou então, que havia uma outra estrela girando juntamente com o Sol, e que essa estrela explodiu, jogando no espaço a matéria que produziu os planetas. Ou então, que uma outra nuvem colidiu com a nuvem do Sol, produzindo uma rotação mais forte da parte externa da nuvem, onde os planetas foram produzidos. Cada uma dessas propostas procura explicar um aspecto específico do sistema solar, mas nenhuma delas explica todos os fatos básicos do nosso sistema.

Como o assunto deste livro é o estudo do surgimento do universo como um todo e não apenas do sistema solar, não podemos dedicar muito tempo a esse tema. Em uma conferência internacional sobre a origem do sistema solar, em 1962, os astrônomos D. ter Haar e A. G. W. Cameron analisaram todas as teorias que já haviam sido propostas. Eis a conclusão geral que tiraram:

Vamos considerar por um momento a situação, e perguntar por que há tantas teorias, enquanto que nenhuma delas é satisfatória. É claro que a falta de uma teoria satisfatória não é devida a uma falta de interesse no problema; na verdade, esse interesse tem aumentado rapidamente em anos recentes. No entanto, é instrutivo perguntar: por que existem tantas teorias que pretendem ter resolvido o problema? A razão é que em praticamente todas as teorias falta uma base quantitativa. Praticamente todas as teorias são qualitativas, mostrando processos possíveis que poderiam levar ao nosso sistema planetário. No entanto, elas não consideram a questão de verificar se os processos propostos podem também explicar quantitativamente a formação dos planetas. Essa ausência de análise quantitativa está geralmente escondida por uma análise mais ou menos quantitativa de alguns poucos detalhes, sem, no entanto, especificar os valores de importantes constantes que entram nos cálculos. No entanto, é sempre preciso voltar a enfatizar que a cosmogonia pode também ser tratada pelos mesmos métodos analíticos rigorosos que foram tão bem sucedidos em outros campos da astrofísica.

A idéia básica apresentada por esses autores, e que devemos admitir, é que tudo é muito fácil até que se tenta fazer os cálculos e compará-los com a realidade. É possível imaginar muitos modelos para a origem do sistema solar, mas nenhum deles resiste a uma discussão mais cuidadosa, utilizando as teorias físicas que são aceitas. Ou seja: mesmo a parte do universo que está mais próxima de nós, e que é tão estudada há séculos e séculos, ainda não foi explicada de um modo rigoroso, que resista a uma discussão matemática cuidadosa. No entanto, a cada teoria nova, o seu autor pensa que chegou, enfim, à resposta final: como dizem Haar e Cameron, cada teoria pretende ter resolvido o problema. Mas nenhuma delas resistiu muito tempo: em dez ou vinte anos, são arrasadas pela crítica ou simplesmente nem despertam atenção e acabam esquecidas.

Por isso, não devemos ficar muito impressionados se lermos em alguma revista ou jornal que determinado cientista Fulano acaba de descobrir a origem do sistema solar. Esse tipo de notícia sempre aparece e, pouco depois, é esquecida e substituída por uma nova notícia: o cientista Sicrano acaba de descobrir a origem do sistema solar. É claro que nosso conhecimento vai sempre aumentando: as naves espaciais nos transmitiram um volume imenso de informações sobre os planetas e suas luas. Mas isso não torna o problema mais simples. Pelo contrário: é cada vez mais difícil explicar aquilo que já se conhece.

Todos esses fracassos não indicam que o problema não possa ser resolvido. Indicam apenas que o problema é muito complicado. É difícil imaginar alguma coisa que ainda não tenha sido sugerida ou tentada. Talvez não surja uma proposta totalmente nova; mas deve haver algum modo de modificar as hipóteses que já surgiram até hoje, e conseguir explicar pelo menos os fenômenos principais do sistema solar. E quem fizer isso terá dado um passo importantíssimo para nossa compreensão do universo.