



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO LICENCIATURA EM FÍSICA

VALDIRENE DA SILVA

TEORIAS DE FORMAÇÃO DO SISTEMA SOLAR

MONSENHOR GIL

2023

VALDIRENE DA SILVA

TEORIAS DE FORMAÇÃO DO SISTEMA SOLAR

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina central.

Orientador(a): Prof^ª.Dr. Francisco Ronan Viana Araújo

MONSENHOR GIL

2023

TEORIAS DE FORMAÇÃO DO SISTEMA SOLAR

Valdirene da Silva)¹

Francisco Ronan Viana Araújo²

RESUMO

Existem várias teorias que tentam explicar como o sistema solar se formou, mas a teoria mais aceita atualmente é a teoria da nebulosa solar. De acordo com essa teoria, o sistema solar começou a se formar a partir de uma nuvem molecular gigante composta principalmente por hidrogênio e hélio, além de outros elementos em menor quantidade. Essa nuvem começou a se contrair sob sua própria gravidade, formando uma estrutura em forma de disco conhecida como disco protoplanetário. No centro desse disco, a temperatura e a pressão aumentaram o suficiente para iniciar a fusão nuclear do hidrogênio, formando o Sol. Ao mesmo tempo, os materiais mais pesados no disco começaram a se agrupar em protoplanetas, que continuaram a crescer através de colisões e atração gravitacional. Conforme os protoplanetas cresceram, eles começaram a atrair mais material, eventualmente se tornando os planetas do sistema solar que conhecemos hoje. Durante esse processo, muitos objetos menores foram formados, incluindo asteroides, cometas e outros corpos celestes. O presente estudo, por meio de uma revisão bibliográfica, tem como objetivo analisar as teorias de formação do sistema solar.

Palavras-chave: Sistema Solar; Universo; Planetas.

ABSTRACT

There are several theories that try to explain how the solar system formed, but the most accepted theory today is the solar nebula theory. According to this theory, the solar system began to form from a giant molecular cloud composed mainly of hydrogen and helium, in addition to other elements in smaller quantities. This cloud began to contract under its own gravity, forming a disk-shaped structure known as a protoplanetary disk. In the center of this disk, the temperature and pressure increased enough to initiate nuclear fusion of hydrogen, forming the Sun. At the same time, the heaviest materials in the disk began to clump together into protoplanets, which continued to grow through collisions and gravitational attraction. As the protoplanets grew, they began to attract more material, eventually becoming the solar system planets we know today. During this process, many smaller objects were formed, including asteroids, comets and other celestial bodies. The present study, through a literature review, aims to analyze the formation theories of the solar system.

Keywords: Solar System; Universe; Planets.

¹ Discente do curso de licenciatura em Física. Instituto Federal do Piauí.
valdirenesilva976@gmail.com.

² Prof. Dr. Francisco Ronan Viana Araújo. Instituto Federal do Piauí.
Ronan.viana@ifpi.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Existem várias teorias que tentam explicar como o sistema solar se formou, mas qual teoria é a mais aceita atualmente? A teoria mais aceita atualmente para a formação do sistema solar é a Teoria Nebular, proposta por Pierre-Simon Laplace em 1796 e aperfeiçoada por outros cientistas ao longo do tempo.

Segundo essa teoria, o sistema solar teria se formado a partir de uma nuvem molecular gigante de gás e poeira (a nebulosa solar) que começou a se contrair devido à sua própria gravidade. Essa contração teria sido causada por algum tipo de perturbação externa, como a explosão de uma supernova ou a passagem próxima de outra estrela.

À medida que a nebulosa se contrai, ela começa a girar mais rapidamente, devido à conservação do momento angular. Com o tempo, a nebulosa começa a se achatado em um disco protoplanetário, com um núcleo central denso (que se tornaria o Sol) e um anel externo de gás e poeira que se dividiria em pequenos pedaços, que eventualmente se tornariam os planetas.

À medida que os pedaços de poeira e gás colidiam uns com os outros, eles se fundiam em objetos cada vez maiores, formando planetesimais e depois planetas. Esse processo de aglutinação planetária é chamado de acreção. Eventualmente, os planetas se estabilizam em órbitas circulares ao redor do Sol e a nebulosa restante é dispersa pelo vento solar.

Essa é uma explicação simplificada da Teoria Nebular, que é muito mais complexa e ainda tem muitas perguntas em aberto sobre como exatamente a nebulosa se contraiu e se dividiu em pedaços. No entanto, a teoria fornece uma estrutura geral para entender como nosso sistema solar pode ter se formado a partir de uma nuvem de gás e poeira.

Nos últimos quatro séculos, o desenvolvimento das teorias de formação do sistema solar foi marcado por rupturas e descontinuidades, ao contrário das versões simplificadas encontradas em publicações de divulgação científica, programas de TV e obras de síntese. Esses materiais costumam apresentar uma linha ininterrupta desde Laplace até os modelos atuais de acreção de planetesimais em discos protoplanetários, testados em simulações de computador sofisticadas.

2. HISTÓRIA DAS TEORIAS DE FORMAÇÃO DO SISTEMA SOLAR

René Descartes foi o primeiro pensador conhecido a ter formulado uma explicação naturalista baseada na cosmologia copernicana para a origem do sistema solar. Em sua cosmogonia cartesiana, ele relegou o papel divino a apenas um impulso inicial de movimento à matéria. De acordo com sua teoria, cada estrela, incluindo o Sol, era o centro de um vórtice, e os planetas e luas eram objetos que anteriormente foram centros de outros vórtices destruídos e se tornaram parte do vórtice solar.

Embora Descartes tenha exercido influência na época, cosmogonias naturalistas não eram muito comuns no século XVII. Com o estabelecimento da mecânica newtoniana como paradigma da física no século XVIII, a física cartesiana e seus vórtices celestes caíram em desuso, gerando um vácuo teórico sobre a origem do sistema solar. Levava pelo menos meio século para esse vácuo ser preenchido. Newton, ele próprio, era avesso à tentativa de elaborar uma explicação naturalista para a origem do sistema solar, dada a aparente ordem e regularidade desse sistema.

Na época de Newton, qualquer teoria sobre a origem do sistema solar teria que explicar as seguintes regularidades: 1) a coplanaridade dos planetas, 2) a baixíssima excentricidade de suas órbitas, 3) o fato de que giram em torno do Sol no mesmo sentido que a estrela, 4) a rotação dos planetas em torno do próprio eixo no mesmo sentido, com exceção de Vênus (mais tarde Urano), e 5) a direção orbital dos satélites que acompanham os planetas, que é a mesma da rotação dos planetas (com exceção dos satélites de Urano que foram descobertos posteriormente).

As tentativas de explicar naturalisticamente a origem do sistema solar começaram a surgir no quadro da mecânica newtoniana apenas em meados do século XVIII, ainda que sem um tratamento quantitativo. Em 1755, Kant sistematizou a hipótese segundo a qual o sistema solar seria resultado da contração de uma nuvem de gás primordial. Entretanto, apenas no final desse século e no começo do seguinte é que a primeira teorização quantitativa baseada na física newtoniana sobre a origem do sistema solar foi desenvolvida: a hipótese nebular de Laplace.

De forma simplificada, a teoria nebular de Laplace descreve que uma nuvem primordial de gás se contrai por interações gravitacionais, adquirindo rotação e assumindo a forma de um disco. Este disco giratório, gradualmente, lança anéis de matéria para fora, que se condensam e formam planetas com o Sol em seu centro. Assim, a teoria propõe um único processo de formação de estrelas e planetas simultaneamente, com os planetas sendo subprodutos da formação estelar.

Esta teoria tem implicações importantes para um campo que transcende os limites da ciência, como a especulação sobre a pluralidade de mundos e vida extraterrestre. Se planetas são uma consequência natural da formação estelar, então sistemas planetários devem ser bastante comuns na natureza. A hipótese nebular foi um dos pilares do cenário de inúmeros sistemas solares, que alimentou a imaginação dos entusiastas da astronomia durante todo o século XIX, seguindo uma tradição que remonta a Voltaire, Fontenelle e Giordano Bruno.

Até o final do século XX, a especulação sobre a abundância ou raridade de sistemas planetários dependia das teorias de formação do sistema solar. Se uma teoria recorresse a um único processo natural como origem do Sol e dos planetas, sugeriria a existência de incontáveis sistemas planetários. Em contrapartida, se a formação dos planetas fosse vista como algo separado ou posterior à formação do Sol, o cenário sugeria a raridade dos sistemas planetários ou mesmo a ideia de que o sistema solar é o único no universo. As teorias que recorrem a um único processo natural são chamadas de monistas, enquanto as que precisam de algum evento extraordinário para a formação dos planetas são chamadas de dualistas.

A teoria monista de Laplace foi predominante durante todo o século XIX, coincidindo com a crescente profissionalização e institucionalização da ciência, bem como com o avanço técnico dos instrumentos de observação. No entanto, anomalias começaram a surgir e acumular durante o mesmo período de crescimento na capacidade de observação e coleta de dados empíricos.

Essa teoria pode ser vista como um paradigma evolucionista, que orientava uma visão de mundo baseada na evolução cósmica, sugerindo que a humanidade estava inserida numa linha ininterrupta de progresso da natureza, com uma direção clara, desde uma nuvem de gás primordial até a civilização europeia.

Durante o século XX, o maior desafio empírico para a hipótese nebular era a distribuição do momento angular no sistema solar. Embora o Sol contenha 99,8% da massa do sistema, apenas 0,5% do momento angular está concentrado na estrela, com a maior parte nos planetas gasosos. Isso significava que, se o sistema solar tivesse se originado a partir de uma nuvem de gás em colapso, o Sol deveria ter uma velocidade de rotação muito maior do que a observada. Essa discrepância foi um obstáculo para as teorias de formação do sistema solar no início do século XX.

Ao contrário do século XIX, a primeira metade do século XX foi marcada por mudanças teóricas significativas no campo da formação do sistema solar. A hipótese nebular, já abalada por dados empíricos incompatíveis, foi destruída pela pesquisa conjunta do geólogo Thomas Chamberlin e do astrônomo Forest Moulton em 1900.

Eles publicaram uma nova teoria, a hipótese planetesimal, em 1905. Segundo essa teoria, os planetas teriam se formado por meio da acreção de matéria por colisões entre pequenos corpos condensados e relativamente frios, planetesimais originados por uma quase colisão entre o Sol e outra estrela.

A interação gravitacional violenta desse encontro estelar teria arrancado material solar que, resfriando-se e colidindo lentamente em órbitas originalmente excêntricas ao redor do Sol, teriam dado origem ao nosso sistema planetário (Chamberlin & Moulton, 1909).

Um modelo quantitativo e dedutivo surgiu dez anos depois, em concordância com a teoria de Chamberlin e Moulton de que um encontro estelar gerou o sistema planetário ao redor do Sol. Independentemente, dois cientistas britânicos, o físico James Jeans e o geólogo Harold Jeffreys, propuseram uma teoria de encontro estelar ligeiramente diferente no processo de formação planetária, embora as diferenças sejam insignificantes para os fins deste artigo. Ambas as teorias são dualistas, propondo que a origem da estrela e dos planetas ocorreu por meio de processos distintos e não relacionados.

Uma das consequências mais importantes dessas teorias é que o sistema solar deve ser extremamente raro ou mesmo único no universo (Brush, 1996). Isso decorre da improbabilidade de um encontro ou colisão estelar - algo que ficou cada vez mais evidente a partir dos cálculos de Jeans na década de 20 (Dick, 1998).

Durante a segunda metade do século XX, houve uma grande quantidade de hipóteses propostas sobre a formação planetária a partir de uma nebulosa primordial, algumas com diferenças significativas em relação à hipótese nebular original. Estas teorias incorporaram novas ideias, como a astrofísica de evolução estelar, que levou à descoberta de que estrelas jovens possuem campo magnético que transfere momento angular para o disco protoplanetário antes de atingirem a sequência principal, solucionando um dos problemas das teorias monistas relacionado à distribuição de momento angular.

Além disso, algumas das novas teorias monistas também incorporaram a concepção da acreção de planetesimais, ou seja, a formação de planetas a partir de colisões de objetos relativamente frios em um disco protoplanetário de gás e poeira. Essa é a mesma ideia original proposta por Chamberlin, ressuscitada. No final dos anos 1960, Viktor Safronov incluiu a acreção de planetesimais em seu influente modelo de nebulosa de baixa massa, posteriormente conhecido como Teoria da Nebulosa Solar, ou SNT.

Embora ainda tenham sido propostas alternativas teóricas dualistas, no final do século XX, o campo das planetogonias tendeu a aceitar a teoria de Safronov como a mais aceita.

Atualmente, a SNT orienta grande parte das pesquisas em astrofísica e as próprias simulações em computador.

A crença de que o progresso científico é alcançado através da acumulação de conhecimento é uma ideia que remonta à Ilustração, sendo influenciada pelo positivismo comtiano durante o século XIX e continuando a ser popular até o século XX.

No entanto, esta visão linear do progresso científico tem sido consistentemente criticada e desconstruída desde a década de 1960, quando Popper propôs uma analogia entre o desenvolvimento da ciência e a seleção natural darwiniana. Kuhn e Feyerabend, que surgiram no cenário intelectual da segunda metade do século XX, adotaram uma postura crítica em relação à ciência e produziram obras que influenciaram a filosofia, história e sociologia da ciência.

A influência de Kuhn, em particular, levou à criação de uma sociologia da ciência que negava o papel da natureza na construção do conhecimento científico, reduzindo-o a uma série de relações sociais. Em algumas versões extremas, a natureza é considerada irrelevante para a resolução de disputas teóricas, que ocorrem através do poder e das disputas políticas. Esta visão cética do progresso científico é inadequada e o episódio examinado neste artigo serve para ilustrar tanto as falhas do cumulacionismo quanto a inviabilidade do relativismo epistemológico.

Em seu trabalho seminal sobre a história das teorias de formação do sistema solar, Stephen G. Brush afirmou que, no final dos anos 1980, as teorias sobre a origem do sistema solar ainda não haviam respondido à questão fundamental de se o sistema solar se formou naturalmente a partir de matéria primordial ou exigiu assistência de uma estrela pré-existente ou outra entidade.

Mesmo na era da detecção de planetas extrassolares, de observação de discos protoplanetários e de possíveis zonas de acreção de planetesimais, essa indefinição ainda permaneceu. Embora a resposta para a questão fundamental de Brush ainda não tenha sido inequivocamente determinada, há motivos para acreditar que o caminho atualmente seguido é o mais promissor.

Com o volume de planetas extrassolares já descobertos e a pequena porção da galáxia que foi explorada, juntamente com o conhecimento empírico adquirido ao longo de décadas sobre discos protoplanetários e as novas imagens de zonas de acreção, é provável que um aumento no poder dos telescópios revele ainda mais objetos em detalhes.

É por isso que a melhor explicação para a convergência do campo de planetogonias em teorias que veem os planetas como subprodutos da formação estelar é que os cientistas

racionalmente optaram por perseguir, testar e trabalhar com essas teorias, deixando de lado, pelo menos temporariamente, as teorias que apontam para a existência apenas do nosso sistema planetário ou para a raridade dos sistemas planetários ou a ideia de que sistemas planetários só se formam com algum evento incomum, raro ou difícil de reproduzir.

Não se trata apenas de avaliar a aceitação ou a crença em teorias do tipo, no meio científico, mas de uma gradação entre a aceitação e a rejeição, a crença e a descrença. O autor Larry Laudan observa que a relação entre cientistas e teorias envolve não apenas a busca por entreter e testar uma ou mais hipóteses, mas também a busca por não apresentar a necessidade de acreditar ou aceitar como verdadeira uma teoria.

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa científica é desenvolvida através de um processo envolvendo diversas fases, que obedecem a um procedimento racional e sistemático objetivando a busca respostas a um determinado problema. O presente tópico descreve a metodologia utilizada neste trabalho discorrendo sobre o percurso pelo qual o estudo se deu e os métodos e estratégias empregadas nele.

A metodologia da pesquisa científica refere-se ao caminho adotado no decorrer do estudo e as técnicas. Portanto, a metodologia compreende “toda a bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, desde de publicações avulsas, boletins, revistas, livros, pesquisas, monografias, até meios de comunicação oral: gravações, filmes e televisão” (LAKATOS; MARCONI,2010).

O presente trabalho configura-se como um estudo bibliográfico, utilizando-se das concepções de alguns estudiosos que tratam a respeito da temática proposta, buscando averiguar questões relacionadas às práticas realizadas segundo os contextos da realidade do tema.

A utilização da pesquisa bibliográfica permite um estudo mais amplo da temática em questão, além de poder construir o referencial teórico e embasar as discussões acerca dos aspectos práticos. Assim sendo, pode-se elaborar um comparativo entre as ideias e os ideais dos autores pesquisados a fim de tornar a linha de pesquisa mais fundamentada (LAKATOS; MARCONI,2010).

4. RESULTADOS E DISCURSÕES

Nos últimos quatro séculos, o desenvolvimento das teorias de formação do sistema solar foi marcado por rupturas e descontinuidades, e a pergunta que fica solta é? houve progresso na área? precisa ser complementada com em relação a que?.

Se for algo mais universal, como a busca pela verdade, não é fácil sustentar que houve progresso. Apesar de nosso conhecimento do sistema solar ter aumentado rapidamente desde o lançamento das sondas e telescópios espaciais e da rejeição da ideia de que o sistema solar é o único sistema planetário do universo, não parece ter havido o mesmo progresso em direção a uma teoria que explique satisfatoriamente a formação do sistema solar e de sistemas planetários em geral. O campo ainda está em estágio inicial de desenvolvimento.

Se o complemento à pergunta sobre o progresso na área das planetogonias for "em relação à origem dos planetas", então é possível afirmar com alguma confiança, por meio da inferência da melhor explicação, que houve progressos significativos. Esse progresso se justifica pela quantidade de dados empíricos coletados ao longo das últimas sete décadas de exploração espacial e aprimoramento tecnológico de aparatos de observação astronômica, bem como pela coadunação desses dados empíricos com a rede de teorias que constituem o conhecimento atual em astrofísica.

Além disso, a ancoragem empírica e a malha bem entrelaçada das teorias formam uma indicação muito forte da verdade de uma alegação ou teoria. A partir disso, é possível concluir que houve progresso significativo em direção à imagem de um universo que contém um número pelo menos tão grande de planetas quanto de estrelas e em que a formação de sistemas planetários não é dependente de processos naturais extraordinários ou eventos fortuitos.

Durante a segunda metade do século XX, as teorias sobre a formação do sistema solar se tornaram mais complexas e sofisticadas. As propostas, como as teorias dualistas, que sugeriam que os planetas existiam apenas em torno do Sol e que os sistemas planetários eram raros, foram inviabilizadas pelos dados empíricos coletados com o avanço da tecnologia.

As teorias de formação de sistemas planetários do século XXI precisam levar em consideração um conjunto de conhecimentos científicos sofisticados, incluindo física atômica e astrofísica, bem como outras teorias sobre a estrutura física do universo.

Além disso, as teorias atuais precisam estar de acordo com dados empíricos, como os obtidos por meio de análise espectroscópica da composição do sol, dos planetas, de outras

estrelas, de discos protoplanetários e de nebulosas de formação estelar, bem como observações detalhadas feitas por sondas espaciais e telescópios.

Embora não possamos ter certeza de que estamos caminhando na direção certa em termos de encontrar respostas definitivas, isso não significa que não haja progresso científico. Na verdade, podemos concluir que respostas erradas ou infrutíferas foram rejeitadas ou deixadas de lado em favor de hipóteses mais promissoras.

Os avanços teóricos e os dados empíricos coletados não colocam necessariamente os atuais teóricos da formação do sistema solar em condição definitivamente melhor do que aqueles que existiam antes da era espacial.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do apresentado, atualmente é viável reverter o sentido de uma passagem famosa de James Jeans, parafraseando-a com o cuidado epistemológico de não confundir o conhecimento da natureza com a natureza em si: o nosso conhecimento da natureza sugere que os sistemas planetários são algo comum; eles não devem necessitar de condições incomuns para que venham a existir.

Quanto à relevância das teorias sobre a formação de sistemas planetários na busca de respostas para a antiga questão sobre o lugar da vida no universo, as especulações a respeito da pluralidade dos mundos estavam atreladas ao que as teorias poderiam indicar ou levar a concluir.

Em suma, elas perderam relevância em relação a isso devido à torrente de dados empíricos que sustentam a abundância de sistemas planetários. Mesmo assim, quando nos questionamos se o sistema solar é típico ou não, as teorias sobre a formação de planetas permanecem cruciais, embora até o momento não tenham proporcionado nenhum avanço significativo rumo a uma resposta satisfatória.

REFERÊNCIAS

BRUSH, S. G. **A History of Modern Planetary Physics. Volume 1: Nebulous Earth.** Cambridge: Cambridge University Press, 1996a.

BRUSH, S. G. **A History of Modern Planetary Physics. Volume 2: Transmuted Past.** Cambridge: Cambridge University Press, 1996b.

BRUSH, S. G. **A History of Modern Planetary Physics. Volume 3: Fruitful Encounters.** Cambridge: Cambridge University Press, 1996c.

CHAMBERLIN, T. C. & Moulton, F. R. **Certain Recent Attempts to Test the Nebular Hypothesis.** Science 12 (293): 201- 208, 1900.

CHAMBERLIN, T. C. & Moulton, F. R. **The Development of the Planetesimal Hypothesis.** Science 30 (775): 642-645, 1909.

CIEZA et al. **Imaging the water snow-line during a protostellar outburst.** Nature 535: 258–261, 2016.

DESCARTES, R. **O Mundo, ou Tratado da Luz.** Campinas: Edunicamp, 2009.

DICK, S. J. **Life on Other Worlds: the 20th Century Scientific Debate.** Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

ENCRENAZ, T. et al. **The Solar System.** New York: Springer, 2004.

HAACK, S. **Defending Science—within Reason: Between Scientism and Cynicism.** Edição do Kindle. New York: Prometheus Books, 2003.

JEANS, J. **The Mysterious Universe.** London: Pelican Books, 1930.

KANT, I. **Universal Natural History and Theory of the Heavens [1755].** Edição do Kindle. Arlington: Richer Resources Publications, 2009.

LAPLACE, P. S. **Exposition du Système du Monde.** Paris: Courcier, 1808. Laudan, L. **O Progresso e seus Problemas.** São Paulo: Edunesp, 2010.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica.** São Paulo: Atlas, 2010.