



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE ASTRONOMIA
OBSERVATÓRIO DO VALONGO



OS ANÉIS DE SATURNO:
DO CORPO TRIPLO DE GALILEU À SOLUÇÃO DE MAXWELL

ALUNO: BRUNO RAINHO MENDONÇA
ORIENTADOR: ALEXANDRE CHERMAN (FUNDAÇÃO PLANETÁRIO)

PROJETO DE FINAL DE CURSO
PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ASTRÔNOMO

SETEMBRO DE 2003

“Eu observei o mais alto planeta como sendo um corpo triplo”.

Galileu Galilei

“Ele [Saturno] é circundado por um anel fino e plano, que não o toca em lugar algum, e é inclinado em relação à eclíptica”.

Christiaan Huygens

“... quando contemplamos os anéis de um ponto de vista puramente científico, eles se tornam os corpos mais interessantes dos céus...”.

“... os anéis devem ser compostos por partículas desconexas; estas podem ser líquidas ou sólidas, mas têm que ser independentes. O sistema completo de anéis deve, portanto, ser formado ou por uma série de vários anéis concêntricos... ou então uma confusa multidão de partículas em órbita, não organizadas em anéis, e continuamente se chocando umas com as outras”.

James Clerk Maxwell

RESUMO

Os anéis de Saturno, que tanto fascinam a imaginação popular, foram descobertos em 1655, por Christiaan Huygens. Antes, porém, Galileu Galilei já havia notado algo de diferente no então mais distante planeta conhecido do Sistema Solar.

À descoberta de Huygens seguiram-se 200 anos de dúvidas e postulados quanto à natureza destas estruturas, culminando na solução atualmente aceita, proposta por James Clerk Maxwell, em 1856. Por este trabalho, Maxwell ganhou o quarto prêmio Adams, conferido pela Universidade de Cambridge.

Maxwell, porém, não foi o primeiro a inferir a verdadeira natureza do sistema de anéis. Alguns cientistas, por volta de 1660, sugeriram que os anéis fossem formados por um grande número de satélites muito pequenos. Giovanni Domenico Cassini também não acreditava na natureza sólida dos anéis. Seus estudos o levaram a descobrir quatro novas luas e, em 1675, a faixa escura conhecida como divisão de Cassini.

Já no século XVIII, o matemático francês Pierre Simon de Laplace esboçou uma teoria matemática para explicar a dinâmica dos anéis. Esta teoria, que ficou incompleta, motivou a comissão do prêmio Adams a procurar uma solução definitiva para o problema. Quem solucionou esse problema foi o jovem Maxwell, que provou, matematicamente, que os anéis de Saturno não poderiam ser um corpo rígido, sendo portanto um sistema múltiplo de partículas.

O objetivo deste trabalho é trazer à tona a importância do resultado encontrado por Maxwell em uma área que comumente não é associada a ele. Além disso, será realizado um apanhado histórico das descobertas envolvendo os anéis de Saturno, de Galileu a Maxwell.

Palavras-chave:

Astronomia — História da Astronomia — Sistema Solar — Planetas — Saturno — Sistema de anéis — Hipótese anelar — Telescópio.

ABSTRACT

Saturn's rings, fascinating as they are, were discovered in 1655, by Christiaan Huygens. Before that, though, Galileo Galilei had already noticed something unusual in the most distant planet known at the time.

After Huygens' discovery, 200 years followed, full of doubts and postulates regarding the nature of those structures, ending with the current solution, proposed by James Clerk Maxwell in 1856. For this work, Maxwell was awarded the 4th Adams Prize, offered by Cambridge University.

Maxwell, though, was not the first to infer the real nature of the ring system. A few scientists, around 1660, suggested that the rings were made of a large number of small satellites. Giovanni Domenico Cassini was one of them, not believing in the solid nature of the rings. His studies led him on the discovery of four new moons and, in 1675, the dark strip known as the Cassini gap.

In the 18th century, the French mathematician Pierre Simon de Laplace tried a new theory to explain the dynamics of the rings. This theory remained incomplete and moved the Adams Prize committee to seek a definite solution to the problem. The solution came from a young Maxwell, who proved, mathematically, that Saturn's rings could not be a rigid body, and therefore had to be made of multiple parts.

The goal of the present work is to bring forth the importance of Maxwell's result in an area of knowledge not commonly associated with him. Beyond that, a historical review of the discoveries related to the rings, from Galileo to Maxwell, will be shown.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Allan e Marcia, por **tudo**. Às minhas irmãs Bruna, Nínive e Henriette, e à minha sobrinha e afilhada Giullia. Ao meu “irmão” André, pela sua grande amizade. À minha namorada Juberlândia pelo seu companheirismo e sua compreensão. E ao meu avô Henrique pela coleção sobre Mitologia e pelo anel de grau.

Ao meu orientador Alexandre Cherman, pela sugestão deste tema fascinante, pela forma como me ajudou a conduzir todo este projeto, mas, principalmente, por todo seu incentivo e pela sua amizade.

Ao Colégio Pedro II pela base na minha formação, e a todos os amigos que lá fiz: Alessandro, Sérgio, William, entre outros.

Aos professores Aldyr (Filosofia – CPII), Jorge Bahiense (História – GPI), Sérgio Menge (OV), Jorge Albuquerque (OV), Ildeu de Castro (IF), Luiz Alberto Oliveira (CBPF), e Francisco Caruso (CBPF) por ajudarem a despertar em mim o gosto pela História, pela Filosofia, e principalmente, pela Ciência.

Aos astrônomos e amigos do Planetário que tanto contribuíram na minha formação: Domingos, Fernando, Guilherme, Jorge e Paulo César. Lembrando também da Ângela, sempre tão amável e prestativa.

Aos professores e ex-professores do Observatório do Valongo: Alexandre, Encarnacion, Gilson, Gustavo, Heloisa e Carlos Rabaça. Ao Astrônomo do Observatório do Valongo, Rundsthen e a Secretária da Graduação, Rosa, por sua extrema boa vontade e toda sua ajuda durante o curso (não sei o que seria dos alunos sem ela). Sem esquecer do Claudinho, do Djalma, do Elias e da Irani.

Aos professores do Instituto de Física: Henrique Boschi, Iara Coutinho, Joaquim Lopes e José d’Albuquerque.

Ao Sandro Mendes (Sandrinho) pelos artigos enviados da USP. À Daniela Cid e ao Tiago Nunes pelos artigos enviados de Londres. Devo muito a vocês!

À Flora Simonetti Coelho do Instituto de Letras da UERJ pela sua grande contribuição ao traduzir os títulos em latim das obras citadas.

Aos grandes amigos e colegas que a faculdade me trouxe: Annelisie, Beatriz (Bia), Diana, Eduardo Lima (Dudu), Eduardo Seperuelo, Flávia Pedroza, Flávia Requeijo, Henrique, Jean, Juliana, Leandro, Leonélio, Luis Antonio, Milena, Rafael, Ricardo, Rosicler, Sandro Gomes (Sandrão), Sérgio, Vinicius e Wailã. E ainda o André (Silva) e o Gil, que são anteriores a este período, mas que também fizeram parte dele.

Sem esquecer também da turma do Instituto de Física: Fernando (Boiúna), Licínio, Luiz Augusto (Molinho), Magno, Maria, Renata e Wagner.

ÍNDICE

Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Agradecimentos.....	v
1. Introdução.....	1
2. As várias visões de Galileu.....	5
3. Outros observadores pioneiros.....	17
4. Teorias curiosas.....	26
5. Huygens e sua hipótese anelar.....	39
6. A recepção da hipótese anelar.....	51
7. O senhor dos anéis.....	67
8. O problema da estabilidade dos anéis.....	78
9. O século das grandes descobertas.....	90
10. A solução de Maxwell.....	102
11. Conclusão.....	117
Apêndice A – A mitologia de Saturno.....	120
Apêndice B – Saturno na Antiguidade.....	124
Apêndice C – A origem do telescópio.....	129
Apêndice D – O corpo triplo.....	134
Apêndice E – A introdução de Maxwell.....	136
Apêndice F – A conclusão de Maxwell.....	143
Apêndice G – Glossário.....	146
Referências bibliográficas.....	148
Referências virtuais.....	157
Referências das figuras.....	158

1. INTRODUÇÃO

Abordar um tema como Saturno e seus anéis é sempre interessante, visto que o apelo estético de tal planeta é enorme, e chama sempre a atenção, desde os leigos amantes da astronomia, até os mais céticos cientistas. Saturno é o mais belo dos nove planetas do Sistema Solar, e tal beleza pode ser contemplada mesmo através do mais simples telescópio.

Mas nem sempre foi assim...

Muito antes da invenção destes instrumentos, seu brilho no céu se igualava ao das mais simples estrelas. E assim como os demais planetas visíveis a olho nu, Saturno só se diferenciava das estrelas devido ao seu movimento próprio, que apesar de ser o mais lento, ainda assim era bastante perceptível.

Porém, não se sabe exatamente quando o brilho dos planetas foi distinguido do das estrelas, ou quando eles começaram a ser observados. A evidência mais antiga de observação planetária é a descrição de um fenômeno de Vênus nas tábuas *Nindaranna*,¹ realizada pelos babilônios (uma das primeiras civilizações que habitaram a Mesopotâmia). Acredita-se que tal observação ocorreu por volta de 1600 AEC.²

Já os primeiros a registrar observações do planeta Saturno foram os assírios, em meados do século VII AEC. As tábuas com estas observações foram encontradas nos escombros da Biblioteca Real de Nínive, incendiada em 612 AEC.³

Os povos antigos batizaram estes astros errantes (Sol, Lua, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter, e Saturno) com nomes de suas divindades. O fato de haver sete “planetas” acabou levando a uma associação com os sete metais conhecidos até então: o ouro, a prata, o cobre, o mercúrio, o ferro, o estanho e o chumbo. Este último até hoje é

¹ Nome usado pelos babilônios para se referir a Vênus.

² AEC é a abreviação de “antes da era comum”, uma notação que vem substituindo o mais usual a.C. (antes de Cristo), visto que hoje já se sabe que a data do nascimento de Jesus Cristo foi calculada com erro pelos primeiros cronologistas. Da mesma forma, o que era antes referido como d.C. (depois de Cristo) será agora EC, que é a abreviação de “era comum”.

³ Mais informações sobre as primeiras observações relatadas de Saturno no apêndice B.

associado a Saturno, talvez pelo fato de o chumbo ser pesado, resistente e acinzentado, o que criava uma certa identidade com o deus do tempo grego Cronos, ou seu correspondente na mitologia romana, o deus da agricultura, Saturno.⁴

Além desta analogia, outra que também perdura até os dias de hoje é a dos sete dias da semana, sendo que último dia homenageava o último planeta conhecido (Saturno naquela época era o planeta mais distante que se tinha conhecimento). No caso da língua inglesa, por exemplo, esta referência se mantém na palavra *saturday*, que representa o sábado.⁵ Estas correspondências ilustram muito bem o quanto os planetas eram importantes para aqueles povos.⁶

Mas foi somente quando os gregos começaram a observar os planetas e estudá-los, que tais observações passaram a ter um cunho mais astronômico, tratando de problemas como seus movimentos, e prevendo suas posições futuras. Desde os tempos dos gregos até o começo do século XVII, nomes como Cláudio Ptolomeu, Nicolau Copérnico, Tycho Brahe e Johannes Kepler, entre outros, deram uma enorme contribuição aos estudos referentes aos planetas e, conseqüentemente, Saturno.

O ano de 1610 marcou o início de uma nova era para a Astronomia. Foi neste ano que Galileu Galilei direcionou sua luneta pela primeira vez em direção ao céu, e começou sua série de descobertas a respeito do Sistema Solar. Com relação a Saturno, ele havia notado algo estranho em sua aparência, mas nunca soube ao certo o motivo pelo qual o planeta apresentava aquela forma. Seria Saturno extremamente elíptico? Ou teria o planeta a companhia de dois satélites gigantes? Ou, ainda, seria Saturno dotado de “orelhas”? Nenhuma resposta concreta lhe foi dada durante toda sua vida, e outros observadores depois de Galileu também tiveram aquela estranheza, como Pierre Gassendi, que contribuiu com muitas imagens relativas às várias formas adotadas por Saturno.

Em meados daquele século, algumas teorias sobre tais aparências começaram a surgir através de cientistas que haviam dedicado anos de observações a Saturno. Johannes Hevelius e Christopher Wren foram alguns dos que formularam teorias a respeito de Saturno. Entretanto, foi Christiaan Huygens quem solucionou o problema, a partir de observações realizadas em 1655, sugerindo que Saturno fosse cercado por um

⁴ Mais informações sobre a mitologia de Saturno no apêndice A.

⁵ Em nossa língua, “sábado” é oriundo do termo judaico *shabat* (“sétimo dia”), e não herdou a homenagem feita a Saturno.

⁶ Mais informações sobre Saturno na Antiguidade no apêndice B.

anel. Esta sua hipótese só se tornou pública em 1659, e apesar de sofrer alguns ataques, foi aceita pouco tempo depois com apenas algumas restrições.

Esta teoria de Huygens derrubava um axioma que havia surgido na Grécia Antiga, que dizia que a forma dos corpos celestes era esférica. Desde então, os cientistas tiveram que se acostumar com outras formas para os astros, e com a singularidade na aparência de Saturno.

Huygens, porém, foi infeliz ao declarar que o anel fosse um corpo rígido. Vários cientistas discordaram desta afirmação e passaram a sustentar que tal estrutura fosse formada por um grande número de satélites. Um deles foi Giovanni Domenico Cassini, que em 1675 descobriu uma faixa escura que dividia o anel em dois (na verdade, um anel mais escuro).

Mas foi no final do século XVIII que a constituição do anel foi arduamente estudada por Pierre Simon, Marquês de Laplace, o primeiro a usar os métodos do cálculo para abordar tal tema. Neste mesmo período, William Herschel fazia suas revolucionárias observações de Saturno. Ambos contribuíram enormemente para o conhecimento relativo ao planeta e, no século seguinte vários cientistas seguiram seus passos.

Entre estes, se encontrava o jovem James Clerk Maxwell, que foi quem resolveu o problema da constituição dos anéis de Saturno definitivamente. Sua solução lhe rendeu o 4^o Prêmio Adams, concedido pela Universidade de Cambridge, em 1857.

Após este marco, a confirmação derradeira sobre a composição dos anéis de Saturno só veio no século XX, através de sondas espaciais que o visitaram entre 1979 e 1981. Estas sondas enviaram informações precisas, que confirmaram presença de vários blocos de rocha e gelo girando ao redor do planeta. Como este conjunto está muito distante da Terra, ele é visto como um corpo rígido até mesmo através dos mais potentes telescópios.

Nesta mesma época, Saturno deixou de ser o único planeta do Sistema Solar a ter anéis ao seu redor. Em 1977, foram descobertos anéis em torno de Urano. Já em 1979, foi a vez de Júpiter mostrar os seus para a mesma sonda que passou por Saturno. E, finalmente, em 1984, tais formações também foram observadas ao redor de Netuno. Estes anéis, entretanto, são incompletos (apresentam falhas).

O objetivo deste projeto é fazer um apanhado histórico dos anéis de Saturno, desde a primeira observação feita por Galileu, passando pela grande descoberta de Huygens, até a solução de Maxwell. Pois, apesar de Saturno já ter sido bastante

explorado por vários cientistas e historiadores, existem poucos registros detalhados sobre a história de seus companheiros mais próximos, os anéis.


2. AS VÁRIAS VISÕES DE GALILEU

O ano de 1610 é considerado por vários autores como sendo aquele que marca o fim da astronomia medieval, e o início da astronomia moderna. Isso porque foi a partir deste ano que os cientistas, após direcionar seus telescópios para o céu, passaram a constatar vários fatos e aspectos, fazendo novas descobertas que revolucionaram a ciência.

Sem dúvida, o precursor dessa revolução foi o grande cientista italiano Galileu Galilei (1564 – 1642), que construiu seu primeiro telescópio em meados de 1609.⁷ Apesar de não ter sido o primeiro a construir um telescópio, e sequer ter sido o primeiro a apontar tal equipamento para o céu, foi ele o primeiro a notar a enorme importância das coisas que viu através dele. Na intenção de aperfeiçoar cada vez mais suas observações, Galileu construía novos instrumentos com pequenos ajustes em relação aos anteriores, pois já havia notado que a qualidade da imagem observada estava diretamente relacionada à qualidade ótica do instrumento, e com essas melhorias realizava cada vez mais descobertas extraordinárias. Uma das principais foi a das quatro grandes luas de Júpiter (Io, Europa, Ganimedes e Calisto), que foram batizadas por ele de “planetas medicianos” em homenagem ao quarto grão-duque de Toscana, Cosimo II de Médici. Essa atitude lhe rendeu o título de matemático e filósofo-mor do grão-duque.

Em meados de julho de 1610, Galileu observou Saturno pela primeira vez, em Pádua, na esperança de descobrir novas luas, e assim agradar ainda mais seus patrões. Utilizando um telescópio com um aumento de 30 vezes, ele constatou algo bastante inesperado e peculiar no aspecto do planeta. Em 30 de julho, ele enviou uma carta a Belisario Vinta, secretário do grão-duque de Toscana, relatando esta sua mais recente descoberta:

⁷ Mais informações sobre a origem do telescópio no apêndice C.

Eu comecei no 25^o dia deste mês⁸ a observar Júpiter pela manhã no leste, com sua formação dos planetas medicianos, e eu descobri outra maravilha muito estranha, a qual eu gostaria de tornar conhecida por Sua Alteza e Vossa Senhoria, mantendo isto secreto, porém, até o momento em que meu trabalho for publicado. Mas eu quis informar Sua Serena Alteza disto para que, se outros vierem a descobrir isto, Elas saberão que ninguém observou antes de mim; eu estou bastante seguro de que ninguém verá isto antes que eu mostre. Isto é, que Saturno não é um astro único, mas uma combinação de 3, os quais quase se tocam, nunca se movendo ou mudando; e são arranjados seguindo ao longo do zodíaco, sendo o corpo do meio cerca de 3 vezes maior que os 2 laterais: e estando situados nesta forma ...

Seus colegas cientistas, porém, não tiveram a mesma sorte. Para anunciar sua descoberta no meio científico, Galileu recorreu a um anagrama (tal criptografia era uma prática difundida na época para assegurar a precedência de uma descoberta sem revelar sua natureza): **SMAISMIRMILMEPOETALEUMIBV NENUGTTAVIRAS**. Proveniente de Galileu tal anagrama causou sensação entre cientistas proeminentes através da Europa – inclusive o célebre astrônomo alemão Johannes Kepler (1571 – 1630).⁹

Kepler chegou a resolver o anagrama de Galileu, ainda que erradamente. Interpretou-o como sendo referente ao planeta Marte: SALVE UMBISTINEUM GEMINATUM MARTIA PROLES¹⁰ (Saudações, companheiros gêmeos, filhos de Marte).¹¹

Depois de reiterados pedidos de decodificação, Galileu finalmente veio a público três meses depois, em novembro daquele ano, quando já estava confortavelmente

⁸ Esta data foi retirada exatamente como estava na coleção de obras originais de Galileu *Le opere di Galileu Galilei*, v. X, p. 410. Porém, em duas referências secundárias consultadas, ela não está de acordo com a contida original. Na referência *Saturn and his Anses*, publicada no *Journal for the History of Astronomy* 5, p. 105, o professor Albert van Helden, da Rice University, cita o dia 15 ao invés do 25. Já no livro *The History of Astronomy* de Giorgio Abetti, na página 104, a data referida aparece como sendo dia 26. O erro de van Helden pode ter sido acarretado por causa de uma mudança de calendário iniciada em 1582 (na qual o calendário juliano foi substituído pelo gregoriano) e que causou uma supressão de 10 dias, fazendo com que eles simplesmente desaparecessem. Já o erro de Abetti não tem uma explicação muito lógica, e só se pode supor que foi devido a algum problema na interpretação da grafia do texto, com a qual ele pode ter se confundido.

⁹ Famoso por suas leis que regem o movimento dos planetas, que foram propostas e formuladas entre os anos de 1609 e 1619.

¹⁰ Convém ressaltar que, em latim, a grafia das letras “V” e “U” se equivalem.

¹¹ Curiosamente, o planeta Marte tem de fato dois satélites que, entretanto, só foram descobertos em 1877 pelo astrônomo norte-americano Asaph Hall (1829 – 1907). Seus nomes são Fobos e Deimos.

instalado em Florença. Giuliano de Médici, então embaixador da Toscana junto ao Sacro Império Romano, em Praga, e intermediário entre Galileu e Kepler, apelara ao sábio que satisfizesse a curiosidade do imperador germânico Rodolfo II. Assim, Galileu respondeu:

As letras então, combinadas em seu significado correto, dizem assim: *Altissimum planetam tergeminum observavi* [“Eu observei o mais alto planeta como sendo um corpo triplo”]. Isto é, que Saturno, para minha grande admiração, foi observado por mim não como um astro único, mas três reunidos, os quais quase se tocam; eles são completamente imóveis, e estão situados desta maneira ○○○; o do meio bem maior que os laterais; sendo estes situados um a leste e outro a oeste, exatamente na mesma linha reta...

Neste momento ele corrigiu sua declaração anterior que dizia que os três corpos estavam alinhados com o zodíaco, dizendo que “o ocidental está um pouco erguido para o norte”.


Galileu ficou muito animado com esta descoberta. Visto que ele mesmo fora o responsável pela descoberta das luas de Júpiter (os planetas medicianos), Galileu interpretou estes corpos menores, próximos a Saturno, como sendo satélites daquele planeta. Empolgado, escreveu a Giuliano de Médici: “Então! Descobrimos a corte de Júpiter, e dois criados para este velho homem, que o ajudam a andar e jamais o abandonam”.

Quando Galileu observou Saturno e seus anéis, eles se encontravam numa posição que se aproximava da aparência de perfil, ou seja, seus anéis não estavam muito proeminentes. Devido à qualidade de seu telescópio ele só pôde observar este sistema como três corpos desconexos, onde os corpos laterais representavam as extremidades mais largas dos anéis.¹²

As partes mais estreitas dos anéis, que se encontravam próximas ao corpo central, não puderam ser observadas, e por isso Galileu teve a impressão de que os corpos laterais estavam separados do central.

Para sua grande preocupação, quando observava Saturno com telescópios ainda menos potentes via o planeta como um corpo solitário oval. Isso fez Galileu advertir um de seus correspondentes:

¹² Mais informações sobre a aparência de corpo triplo de Saturno no apêndice D.

Se alguém olhar para eles com um telescópio que não seja de grande aumento, eles não aparecerão como 3 astros bem distintos, mas sim parecerá que Saturno é um astro longo na forma de uma azeitona, como esta ; mas com um telescópio que amplie mais mil vezes sua superfície,¹³ os 3 globos podem ser vistos distintamente, e que eles quase se tocam, com uma separação mínima aparecendo entre eles como uma fina linha escura.

Galileu parecia estar certo em sua predição, pois em dezembro de 1610 o padre jesuíta alemão Christopher Clavius, matemático sênior do Colégio Romano, escreveu para ele dizendo que Saturno lhe apareceu oblongo.

Pode-se notar que ninguém, até então, havia anunciado qualquer mudança na aparência de Saturno. Isso porque os telescópios utilizados nessa época não eram suficientemente bons para mostrar a lenta variação no aspecto do planeta e dos anéis. Mas é importante ressaltar também que quando Galileu viu Saturno pela primeira vez, ele só tinha o precedente de Júpiter e seus “planetas medicianos”. Por isso, sua primeira reação foi a de que havia descoberto dois novos satélites, só que desta vez de Saturno. Depois da tentativa frustrada de encontrar os períodos destes satélites como havia feito com os de Júpiter (Galileu passou meses observando sem notar qualquer alteração na disposição daquele sistema), ele chegou à conclusão de que nenhuma mudança ocorreria na distribuição dos três corpos de Saturno.

Já em maio de 1612, em sua primeira carta sobre as manchas solares, ele se opôs a declaração do jesuíta alemão Christopher Scheiner (1573 – 1650), professor de matemática e de língua hebraica na Universidade de Ingolstadt, de que Saturno às vezes aparecia com uma forma oval, e outras vezes com “dois companheiros laterais”, dizendo que Saturno aparecia sempre como três corpos separados, e somente aparecia na forma de um ovo quando observado por telescópios inferiores. Ele continuou:

Mas eu, que mil vezes em diferentes tempos o examinei com um instrumento excelente, posso assegurar-lhe que não é percebida mudança alguma: e pela mesma razão, baseado na experiência que temos de todos os outros movimentos dos astros, posso afirmar que, da mesma forma, não haverá nenhuma; porque, se

¹³ Galileu exagerou demais nesta descrição de seu telescópio, pois esta informação é totalmente irreal. Seus telescópios permaneciam ainda fornecendo um aumento de cerca de 30 vezes.

para estes astros houvesse qualquer movimento semelhante aos movimentos dos medicanos ou de outros astros, eles deveriam estar separados ou totalmente conjugados com o astro principal de Saturno, até mesmo se seus movimentos fossem mil vezes mais lento que qualquer outro movimento de outro astro que vagueie pelo céu.

Realmente, depois de ter observado Saturno desde julho de 1610 até maio de 1612 (tempo durante o qual ele dificilmente poderia ter feito mil observações), Galileu tinha bons motivos para estar convencido de que a aparência de corpo triplo era a forma permanente do planeta. Assim, durante este período, ele foi gradualmente perdendo seu interesse em observar Saturno, e passou a fazê-lo apenas ocasionalmente.

Porém, no outono de 1612, depois de ter negligenciado o planeta por vários meses, ele o observou novamente e teve uma grande surpresa ao constatar apenas um disco solitário, assim como Júpiter, sem nenhum vestígio de seus corpos laterais. Ele descreveu o que viu em sua terceira carta sobre manchas solares:

Eu também vi Saturno como um corpo triplo este ano na época do solstício de verão; e tendo deixado de observar por mais de dois meses, como quem não mantém dúvidas sobre sua constância, finalmente, tornando a observá-lo nestes últimos dias, eu o descobri solitário, sem a assistência dos astros costumeiros, e, em suma, perfeitamente redondo e definido como Júpiter, e assim se mantendo. Agora o que será dito sobre essa estranha metamorfose? Talvez os dois astros menores tenham sido dissipados da mesma maneira que as manchas solares? Talvez tenham sumido e repentinamente fugido? Talvez Saturno tenha devorado seus próprios filhos? Ou foi uma ilusão e uma fraude a aparência com o qual as lentes teriam por tanto tempo me enganado e a tantos outros que o observaram comigo muitas vezes? Talvez tenha chegado a hora de reavivar a esperança, já quase evaporada, para esses que, guiados pelas mais profundas contemplanções, perceberam que todas as novas observações são falsificações, que não podem existir de modo algum? Eu não sei o que dizer num caso tão estranho, tão inesperado e tão novo: a limitação do tempo, a repentina natureza do evento, a fraqueza do meu intelecto, e o medo de estar equivocado, me confundiram enormemente.

Galileu, obviamente, havia ficado um pouco abalado com esse desaparecimento súbito dos corpos laterais de Saturno. Contudo, ele estava apenas simulando receio ao questionar a realidade do que viu através do telescópio. Depois de tudo que havia escrito sobre suas dúvidas e seu medo de estar errado, ele resumiu suas previsões:

...Os dois astros menores de Saturno, que no momento estão escondidos, talvez se mostrem em torno de dois meses nas proximidades do solstício de verão do próximo ano 1613, e então se esconderão, permanecendo assim até a época do solstício de inverno de 1614; quando eles se mostrarão de novo por poucos meses, tornando então a se esconder novamente até as proximidades do inverno seguinte; quando eu acredito com grande precisão que eles reaparecerão, não desaparecendo novamente até o próximo solstício de verão, que será no ano de 1615, eles se inclinarão na tentativa de se esconder, porém eu não acredito que se esconderão completamente, mas sim, retornarão um pouco depois, e os veremos distintamente e mais lúcidos e maiores do que nunca: e eu quase ousou dizer decididamente que os veremos por muitos anos sem interrupção alguma. Sobre seu retorno eu não tenho dúvida alguma, já sobre os demais detalhes, falo deles com reservas, visto que eles são baseados, neste momento, somente em prováveis conjecturas.

Desta forma, Galileu predisse confiantemente que os corpos laterais retornariam, e também predisse, com reservas, uma série bastante complexa de eventos. Obviamente, estas sucessões de aparecimentos e desaparecimentos eram baseadas em um modelo, mas a natureza deste modelo não era simples. Entretanto, pode-se supor razoavelmente que envolveu algum tipo de movimento dos corpos laterais em torno de Saturno, ou então a rotação de todo conjunto em torno de um eixo. Os corpos laterais foram tratados como satélites (um novo tipo de satélite, diferente dos que já havia descoberto ao redor de Júpiter), e esta idéia, formada durante os primeiros anos de observações telescópicas, permaneceu dominante por mais de trinta anos.

Sobre as previsões de Galileu, no verão de 1613, os corpos laterais realmente reapareceram, o que confirmava parte do que ele havia previsto, mas em seguida, eles não desapareceram e reapareceram novamente, contrariando todo o resto da previsão.

O problema das aparências de Saturno se tornou de conhecimento comum na comunidade intelectual, e assim o aluno de Scheiner na Universidade de Ingolstadt, Johannes Georg Locher (1592 – 1633), escreveu em sua obra *Disquisitiones*

mathematicae, de controversiis et novitatibus astronomicis (“Investigações matemáticas, acerca das controvérsias e novidades astronômicas”), publicada em 1614:

Até agora Saturno enganou ou realmente zombou dos astrônomos por ira ou maldade. Pois ele tem projetado várias aparências. *Às vezes ele é visto solitário e às vezes triplo; uma vez alongado e outras vezes redondo.*

Neste tratado, Locher também descreve as diferentes formas do planeta, apresentando uma ilustração (Figura 1), e mostrando onde, quando, e por quem elas foram observadas. Ele questionou, ainda, como o desaparecimento súbito dos corpos laterais poderia ser explicado:

...Ou isso se dá devido a um movimento local, ou deve ser presumido que tais companheiros de Saturno são consumidos. Mas esta última hipótese não foi defendida por ninguém até agora. Então deve ser prescrita totalmente por um movimento local. Mas o que é este movimento? Aqui os astrônomos ficam confusos. Porque estes astros são imaginados girando ao redor de Saturno com seus movimentos próprios, ou são arrastados com o movimento do planeta?

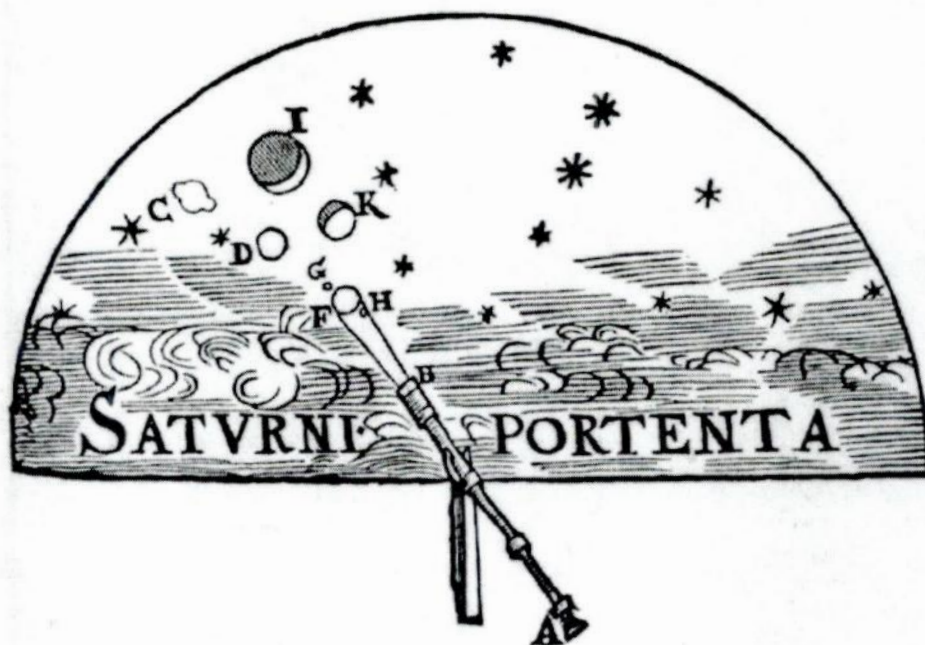


Figura 1 – Ilustração de J.G. Locher e C. Scheiner extraída do *Disquisitiones mathematicae*, na qual várias formas de Saturno são representadas, desde sua primeira observação, até as de 1614. Na figura, A-B é o telescópio; C representa Saturno oblongo; D, Saturno perfeitamente esférico; F,G e H, Saturno triplo; I representa a Lua em fase; e finalmente, K, Vênus também em fase.

Locher, então, analisou as duas possibilidades:

Se o primeiro for verdade, é necessário que eles se aproximem de Saturno e retrocedam em relação a ele e que, finalmente, eles sejam ocultados, *etc.*, o que até aqui não foi observado, embora existam algumas sugestões bem definidas, porque Saturno pode ser visto solitário agora, isso é, em conjunção, ora como um ovo, quando eles estão se aproximando ou retrocedendo, e ora como um corpo triplo, com G & H [Figura 1] situados próximos do central. Se for o segundo caso, é necessário que uma das afirmações seguintes sejam verdade: ou Saturno gira sobre seu próprio eixo, e assim os astros giram com ele e são ocultados na conjunção, modelo que é possível mas não muito agradável porque depende somente de conjecturas, ou é necessário que se chegue a isso: que Saturno conduz seus criados com ele durante seu epíclio anual...

Locher e Scheiner gostaram da idéia de os corpos laterais se moverem ao redor de Saturno independentemente. Isto faria com que seus períodos fossem independentes do movimento de Saturno em seu epíclio. Se os corpos laterais se movessem com o corpo central como uma formação rígida, o movimento epicíclico fixaria os períodos dos aparecimentos e desaparecimentos, a menos que se assumisse que todo sistema tivesse um movimento de rotação (além de todos os seus outros movimentos). Entretanto, a única idéia que se aproveitou de toda esta teoria foi o fato de as mudanças serem devidas ao movimento local, não se sabendo se era o do planeta, ou o de seus astros vizinhos.


O trecho citado do *Disquisitiones mathematicae* ilustra uma hesitação entre duas possibilidades ontológicas: ou Saturno era solitário — um planeta esférico com dois corpos independentes que o flanqueiam — ou ele consistia em três corpos em uma formação rígida. Esta distinção foi simbolizada em um passagem entusiástica de Kepler à revelação de Galileu de que ele tinha encontrado “dois criados para este homem velho”. No prefácio de seu *Dioptrice* (“Dioptriz”) de 1611, Kepler escreveu:

...mas... não farei de Saturno um velho caduco, e de seus orbes companheiros dois de seus criados, mas sim farei destes três corpos unidos um Gerião triplo, e de Galileu Hércules e de seu tubo uma clava, arma pela qual Galileu conquistou

o mais distante dos planetas, arrancando-o dos mais longínquos recônditos da natureza, arrastando-o para a Terra e expondo-o ao olhar de todos.¹⁴

Diferentemente dos satélites de Júpiter ou das fases de Vênus, os quais tiveram uma importância imediata devido a sua relação com a concepção copernicana, a forma variável de Saturno não era um argumento específico para a esta teoria (o que não a tornava menos importante). Ainda assim, Galileu escreveu para Mark Welser, advogado alemão e membro do Senado de Augsburg, que “este astro novamente, e talvez não menos que a aparência curvada de Vênus, coincide admiravelmente com as harmonias do grande sistema de Copérnico”. Porém, em resposta a esse texto de Galileu, Locher e Scheiner afirmaram que a mudança na aparência de Saturno “pode ser atribuída à revolução do epícolo ptolomaico, e, semelhantemente, parece não combinar com o grande orbe de Copérnico”.¹⁵

Mas Saturno ainda guardava alguns truques. Com o tempo, o aspecto dos anéis foi mudando em relação à Terra, mas aparentemente nem Galileu, nem outro contemporâneo seu, observaram Saturno com suficiente regularidade para notar as mudanças graduais que ocorreram em sua aparência. Galileu não observava Saturno há algum tempo quando, em setembro de 1616, ele foi novamente surpreendido pelo planeta. Esperando encontrar a aparência “tri-esférica” familiar, ou talvez a “solitária”, ele se deparou com uma nova forma. A carta original que Galileu enviou para o Príncipe Federico Cesi descrevendo o que vira se perdeu, mas a passagem relevante foi copiada pelo naturalista Giovanni Faber em uma carta para o cardeal Federigo Borromeo, que dizia:

Eu não quero me abster de falar para Vossa Excelência de um novo e estranho fenômeno que eu observei vários dias atrás sobre o astro Saturno, cujos dois companheiros não são mais dois pequenos globos perfeitamente redondos como eram antes, mas são atualmente bem maiores e não mais redondos, como se vê na figura anexa , quer dizer dois meio eclipses com dois pequenos

¹⁴ Este trecho faz uma alusão a um dos doze trabalhos de Hércules, no qual ele foi incumbido da tarefa de levar a Euristeus os bois de Gerião, que era um monstro que possuía três corpos unidos numa única cintura, e era o rei da Ilha de Eritéia.

¹⁵ Estas passagens fazem referência a dois sistemas de mundo diferentes: o de Cláudio Ptolomeu (90 – 160 EC) baseado no geocentrismo (Terra no centro do Universo), e o de Nicolau Copérnico (1473 – 1543) baseado no heliocentrismo (Sol no centro do Universo).

triângulos escuros no meio desta figura e contíguo ao globo central de Saturno, que é visto, como sempre, perfeitamente redondo.

Para vários autores este esboço de Saturno feito por Galileu em 1616 (Figura 2) representou a primeira observação do que ficou conhecido posteriormente como a aparência de Saturno com “alças” (do latim, *ansae*), pelo fato de os corpos laterais juntamente com o globo central agora lembrarem a figura de um vaso com alças. Outros até extrapolaram ao dizer que Galileu havia descoberto os anéis de Saturno quarenta anos antes de Christiaan Huygens, o que não é verdade, pois ele não fez tal interpretação de suas observações. Até onde se pode julgar, ele não fez interpretação alguma desta nova forma, apesar de parecer estranho para um leitor moderno que ao olhar para aquele planeta, Galileu não tenha vislumbrado a solução para o problema das aparências de Saturno. O que permite observar que, a partir deste momento, o problema não era mais a qualidade do equipamento utilizado, e sim a falta de alguém que interpretasse as informações contidas nestas observações corretamente.

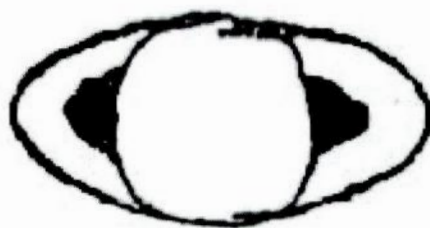


Figura 2 – Primeira ilustração de Saturno com suas “alças” feita por Galileu, em 1616.

Galileu continuou observando Saturno nesta forma durante vários anos, mostrando formas semelhante ao seu primeiro esboço, como no caso da carta enviada para o médico italiano Fortunio Liceti em 1620 (Figura 3a), e de seu *Il Saggiatore* (“O ensaiador”) de 1623 (Figura 3b). Além da ilustração, na carta para Liceti ele escreveu também que “Os astros laterais de Saturno... não serão ocultados até cerca de 1626”. Talvez ele tenha pensado neste momento que os corpos laterais eram ocultados duas vezes durante cada revolução de Saturno ao redor do Sol (que é o que realmente acontece). Mas em seu *Dialogo... sopra i due massini sistemi del mondo...* (“Diálogo... sobre os dois maiores sistemas de mundo...”) de 1632 ele escreveu:

...Saturno se move pelo zodíaco em 30 anos, e sobre si mesmo no plano equinocial em um tempo muito mais curto, como é mostrado pelos aparecimentos e desaparecimentos dos seus globos colaterais.

Isto mostra que ele não tinha uma idéia correta sobre a periodicidade das ocultações dos corpos laterais de Saturno, mesmo depois de sua declaração feita em 1620, na qual dizia que esses corpos seriam ocultados novamente em 1626. Apesar de não ter uma teoria correta, ele acertou em sua previsão, e em 1626 os corpos laterais desapareceram.

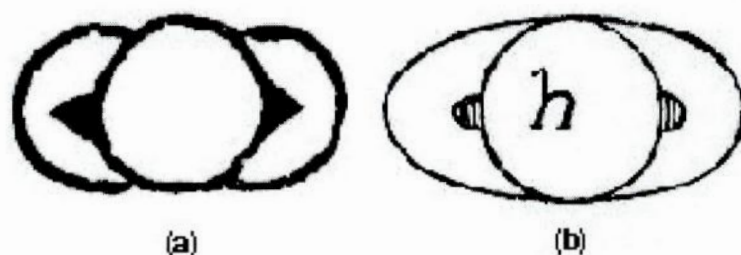


Figura 3 (a) e (b) – Dois outros esboços de Galileu feitos em 1620 e 1623, respectivamente.

Durante cerca de vinte anos depois de publicada no *Il Saggiatore*, a figura que descrevia a forma de Saturno com “alças” (Figura 3b) permaneceu sendo a única representação detalhada desta aparência, o que não ajudou muito na elucidação do problema. Por este motivo também, alguns cientistas que discutiram sobre as aparências de Saturno, falaram dele apenas como tendo dois satélites ou corpos laterais, pois não haviam ainda tomado conhecimento da forma de “alças” destes corpos.

Em 1640, Galileu, que já se encontrava cego, fez um resumo final de suas experiências com Saturno em uma carta para seu aluno favorito, o reverendo Benedetto Castelli:

A primeira visão que eu tive de Saturno foi de três astros redondos, colocados em uma linha reta de oeste para leste, com o do meio muito maior que os laterais: continuei observando-os por alguns meses, e tendo interrompido as observações dele por mais meses ainda, tornei a observá-los, e o encontrei solitário, somente com o astro do meio. Maravilhado com isto, eu refleti em como tal mudança poderia ter ocorrido; e pensando do meu modo particular, tive a coragem de dizer que em 5 ou 6 meses, quando chegasse o solstício de

verão, os dois pequenos astros laterais teriam retornado: e assim aconteceu, e eles foram vistos então por muito tempo. Depois, tendo interrompido as observações novamente enquanto eles estavam nos raios do Sol, tornei a observá-lo de novo, e o vi com duas mitras no lugar dos astros redondos, as quais o fizeram se parecer com uma azeitona. Porém a bola do meio foi vista bastante distintamente, e era rodeada por duas manchas escuras, posicionadas no meio das junções das duas mitras, ou melhor, orelhas. Assim eu o observei por muitos anos: e agora, como o reverendo escreve, as mitras são vistas transformadas em pequenos globos redondos, como meus amigos ainda relatam a mim; e pode ser que nos últimos três anos, durante os quais eu não pude vê-lo, ele talvez tenha estado novamente solitário, e então voltou ao primeiro estado, no qual eu o observei primeiro. Contate no futuro os outros observadores, registrando o tempo das mudanças; cujos períodos serão certamente encontrados, quando há pessoas que têm a curiosidade para fazer o que eu fiz, se não melhor, por tanto tempo.

Embora entre 1610 e o tempo em que ficou cego, Galileu tenha feito mais observações de Saturno que qualquer outra pessoa, em 1640 ele percebeu que mais informações eram necessárias antes que o problema pudesse ser resolvido. Aparentemente, ele aderiu a algum modelo de satélite para configuração do planeta, mas ele nunca declarou explicitamente qualquer modelo e, provavelmente, mudou várias vezes de idéia. Galileu nunca atribuiu seu fracasso para resolver o problema das aparências de Saturno à falta de poder resolutor dos seus telescópios.

Apesar de vários observadores terem examinado Saturno de tempos em tempos através de seus respectivos telescópios, as aparências do planeta permaneceram, por um bom tempo, sendo mais uma curiosidade do que um problema científico. Assim, embora um grande número de observações e algumas teorias curiosas possam ser apontadas entre 1610 e 1642, nenhum progresso significativo pode ser encontrado neste período.

Isto mudou em 1642 (o ano da morte de Galileu), quando uma vez mais Saturno foi observado como um corpo solitário. Os astrônomos enfim começaram a ter um interesse na seqüência desses aparecimentos. Finalmente, Saturno se tornou um assunto merecedor de pesquisa.

3. OUTROS OBSERVADORES PIONEIROS

Durante os trinta primeiros anos da existência do telescópio quase nenhum esforço sistemático foi feito a fim de melhorar as descobertas iniciais de Galileu, e os poucos realizados não acrescentaram praticamente nada de novo. Novas informações relativas a Saturno, como também aos outros planetas, só surgiriam depois de 1640. Porém, é interessante relatar as principais observações do planeta neste período pouco frutífero, para que se possa entender mais claramente os fatos que levaram à solução do problema das aparências de Saturno.

Observações de Saturno mencionadas em publicações antes de 1640 eram raras, e a maioria das discussões sobre o planeta recorria aos pronunciamentos passados de Galileu sobre este assunto. Além de Scheiner e Locher que já foram mencionados anteriormente, outro que também fez observações bastante precoces de Saturno, a partir de 1616, foi o jesuíta italiano e professor de matemática em Parma, Giuseppe Biancani (1566 – 1624), que em seu *Sphaera mundi seu Cosmographia* (“Esfera do mundo ou cosmografia”) descreveu três aparências de Saturno: como corpo triplo, solitário, e oval com duas manchas negras (Figura 4).

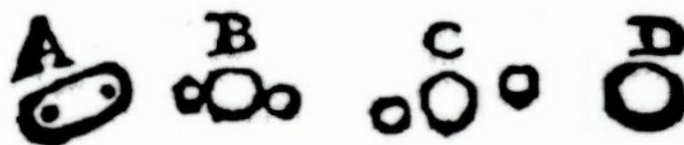


Figura 4 – As diferentes aparências de Saturno mostradas por G. Biancani, em 1635 (data da segunda edição de sua obra que foi lançada postumamente).

Outro que também fez observações telescópicas de Saturno foi o filósofo e matemático francês Pierre Gassendi (1592 – 1655). Ele começou em 1633 e somente a morte o impediu de continuar. Em uma de suas anotações publicadas em sua obra

póstuma *Opera omnia* (“Todas as obras”), foi encontrado o seguinte trecho referente a sua primeira observação de Saturno, datada de 19 de junho de 1633:

Aproximadamente às dez horas quando eu observei Saturno com o tubo através de algumas brechas nas nuvens, ele estava parecendo com um ovo, ou com aquilo de onde o fio da seda é tirado [*i.e.*, um casulo]. O diâmetro maior (direcionado aproximadamente ao longo do zodíaco) parecia pouco menor que o diâmetro de Vênus, para ser correto qualquer diâmetro repetido oito ou dez vezes pareceria quase igual ao diâmetro da abertura do tubo. E realmente no lado precedente [de Saturno] uma alça, ou um pequeno apêndice apareceu confusamente; mas no lado seguinte [de Saturno] a alça estava completamente distinta; e o conjunto foi visto nesta forma e magnitude;



Algumas vezes o corpo de Saturno aparecia redondo, sem os raios abraçando as alças em todos os lados; e outras vezes ele aparecia bastante confuso quando as mesmas alças tinham uma expansão simétrica ao redor dele.

Esta narrativa de Gassendi é bastante confusa, o que apenas se confirma quando se faz uma análise da ilustração desenhada por ele, a qual não registra a aparência oval de Saturno como ele afirmou, mas sim a de um corpo triplo. Só que, em 1633, o planeta caminhava para sua posição mais aberta em relação à Terra, o que deveria tê-lo feito desenhar, ou uma figura oval mesmo, ou então o corpo central com as “alças”. Provavelmente, ele não o fez por não estar familiarizado ainda com as formas de Saturno, e assim não pôde acreditar no que viu naquele momento. Tanto que no ano seguinte ele desenhou novamente o planeta, só que desta vez na forma oval (Figura 5).



Figura 5 – Ilustração da forma oval de Saturno feita por P. Gassendi em 13 de abril de 1634, e publicada em sua *Opera omnia*.

Em 1638, na cidade de Nápoles, o advogado e astrônomo amador italiano Francesco Fontana (1580 – 1656), que foi um dos pioneiros na fabricação de telescópios e no uso deles para observações planetárias, observou Saturno com suas “alças” (Figura 6a), conforme publicou em seu *Novae coelestium terrestriumque rerum observationes* (“Novas observações das coisas celestes e da Terra”). Neste trabalho, Fontana acrescentou cerca de sete grandes ilustrações de Saturno feitas por ele nas décadas de 1630 e 1640 (uma delas pode ser vista na Figura 6b). Com esta publicação, Fontana influenciou vários cientistas da época, estabelecendo, desde então, o costume de acrescentar ilustrações claras às descrições de fenômenos celestes.

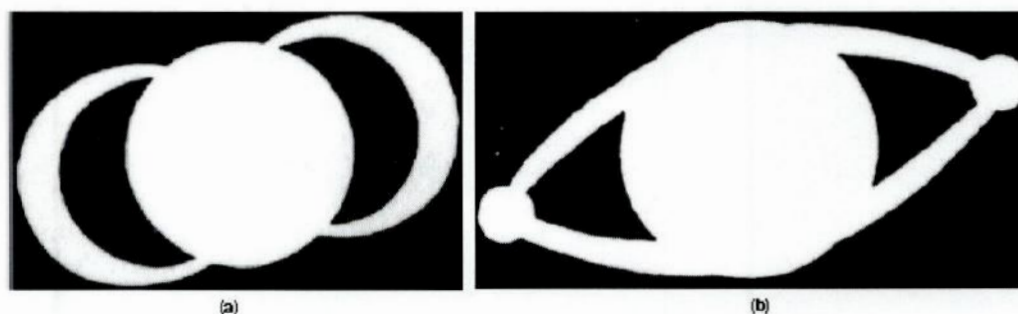


Figura 6 (a) e (b) – Ilustrações de Saturno feitas por F. Fontana em 1638 e 1645, respectivamente.

É importante ressaltar que nenhuma destas observações foi publicada de fato naquele momento. A obra de Biancani foi publicada em 1635 (houve também uma primeira edição desta obra em 1620) e não teve grande repercussão naquela ocasião, e as de Gassendí e Fontana só foram publicadas, respectivamente, em 1658 e 1646. Desta forma, havia somente referências ocasionais às aparências de Saturno nos trabalhos publicados, sendo que, como já foi dito, estes repetiam principalmente o que Galileu e Scheiner tinham desenhado e escrito no período de 1612 a 1614.

Em 1642, Saturno voltou a apresentar sua forma “solitária”. Diferentemente do que havia acontecido em 1626, desta vez este fenômeno causou um movimento significativo na comunidade astronômica. As anotações de Gassendi têm o seguinte registro do dia 10 de agosto de 1642:

Quando eu direcionei meu telescópio para Saturno, eu observei algo inesperado, isto é, Saturno sem as suas alças, algo que eu não tinha visto antes. Eu não posso precisar desde quando ele está assim, e lamento muito não tê-lo

observado mais freqüentemente. De fato, faz 32 meses desde que eu fiz qualquer observação. Eu me lembro também que o grande Mersenne¹⁶ quando pediu meu telescópio há dez meses, disse, ao devolvê-lo, que ele não pôde discernir nenhuma alça em Saturno; mas eu estava certo que isso foi devido a deficiência de sua visão. Assim eu não observei Saturno para ver se ele tinha alças. Eu avisei meus amigos imediatamente... deste fato, para observar por eles mesmos esta coisa notável...

Desta vez, quando Saturno apareceu novamente solitário, ele foi observado por cientistas de toda a Europa. O astrônomo, matemático e ótico francês Ismael Boulliau (1605 – 1694), que fazia observações telescópicas desde 1622, registrou suas primeiras observações de Saturno em 1642. Já os jesuítas italianos Giambattista Riccioli (1598 – 1671) e Francesco Grimaldi (1613 – 1663) começaram a observar Saturno em 1643. Porém, somente em seu *Almagestum novum* (“Novo Almagesto”) de 1651, Riccioli publicou suas ilustrações de Saturno realizadas entre 1643 e 1648 (Figura 7). Nestas observações, além de contar com a ajuda de Grimaldi (seu grande colaborador), ele contou também com a colaboração de outros observadores romanos.

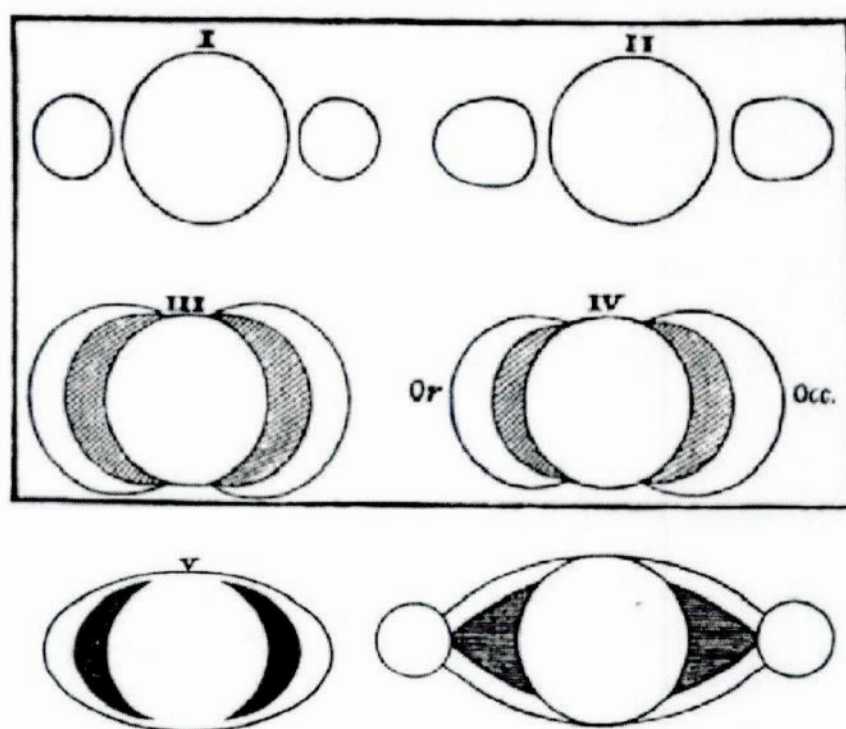


Figura 7 – Ilustrações feitas por G. Riccioli, e publicadas em seu *Almagestum novum* de 1651.

¹⁶ O matemático francês Marin Mersenne (1588 – 1648).

Também em 1643, o matemático suíço Matthias Hirzgarter (1574 – 1653) publicou seu *Detectio dioptrica corporum planetarum verorum* (“Descoberta ótica dos verdadeiros corpos planetários”) dedicado inteiramente aos milagres celestes revelados pelo telescópio. Ele mostrou pela primeira vez em um artigo algumas das ilustrações feitas por Fontana, inclusive a de Saturno com suas “alças” (Figura 8).

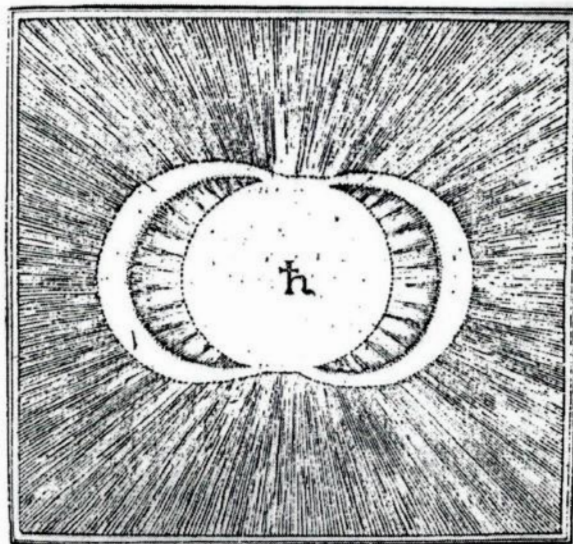


Figura 8 – Saturno com suas “alças” desenhado por F. Fontana, e publicado por M. Hirzgarter em 1643.

Uma medida que dá a noção do crescimento do interesse no problema de Saturno pode ser determinada pela frequência de observações registradas deste planeta encontradas nas anotações de Gassendi: entre 1633 e 1641 ele registrou cerca de sete observações; em 1642 ele registrou nada menos que doze entre 10 de agosto e o fim do ano; e após o início de 1643 até sua morte em 1655 ele registrou cerca de 30 observações adicionais do planeta.

Isto se estende também para o número de ilustrações do planeta registrado nesse período, pois antes de 1642 havia cerca de cinco (sem contar as de Galileu). Com a dimensão tomada pela quantidade de observações da aparência “solitária” de Saturno daquele ano, tanto ilustrações como também descrições do planeta proliferaram rapidamente na literatura da época.

O acúmulo e a disseminação das informações progrediram rapidamente naquele período. O astrônomo e membro do conselho da cidade de Danzig, Johannes Hevelius (1611 – 1689), em seu *Selenographia, sive Lunae descriptio* (“Selenografia, ou

descrição da Lua”) publicado em 1647, divulgou ilustrações excelentes nas quais mostrava várias aparências de Saturno observadas entre 1642 e 1647 (Figura 9).¹⁷

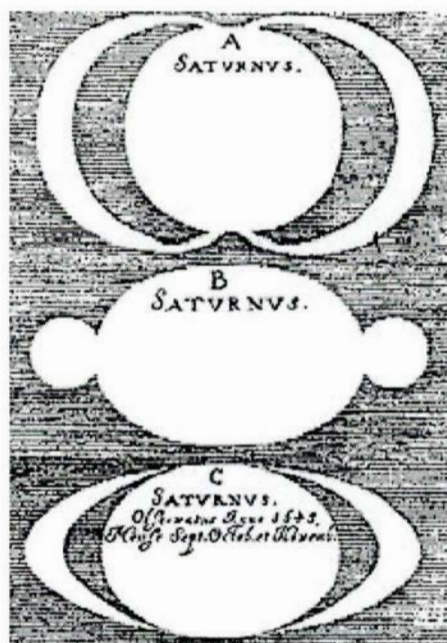


Figura 9 – Ilustrações de Saturno feitas por J. Hevelius, e publicadas em 1647.

Gassendi discutiu todas as suas observações em seu *Animadversiones in decimum librum Diogenis Laertii, qui est de vita, moribus placitisque Epicuri* (“Refutações ao livro décimo de Diógenes Laertes sobre a vida, costumes e preceitos de Epicuro”) de 1649, uma obra que não conteve ilustrações, enquanto Riccioli fez uma revisão completa das aparências de Saturno desde 1610, em seu já citado *Almagestum novum*, classificando-as pelo tipo, e mostrando muitas formas diferentes.

Foram encontradas também com uma certa freqüência, representações do planeta em várias correspondências da época. Mas a figura mais interessante foi publicada em 1649, num simples anúncio dos telescópios do astrônomo e fabricante de telescópios italiano, Eustachio Divini (1610 – 1685). Este folheto foi dedicado ao então grão-duque de Toscana Ferdinando II de Médici, e tinha, além de uma ilustração de Saturno, um mapa da Lua, uma ilustração de Vênus em fase, outra de Júpiter com seus satélites, e também uma da Lua crescente.

¹⁷ Vale lembrar que esta obra de Hevelius foi o primeiro trabalho completo sobre a Lua, no qual ele apresentou um estudo bastante preciso da superfície deste satélite com várias figuras feitas por ele mesmo, que apresentavam cadeias de montanhas, crateras, “mares”, tudo batizado por Hevelius. Parte desta nomenclatura se mantém até hoje, mas outros nomes foram mudados por Riccioli em seu *Almagestum novum* de 1651.

Divini era considerado o melhor construtor de telescópios de sua época, e sua representação de Saturno (Figura 10) poderia ser interpretada facilmente como um anel que cerca um globo central, com exceção do sombreado, que não representava a realidade e, segundo o próprio Divini, servia apenas para enaltecer sua ilustração tendo sido inserida livremente. No entanto, esta afirmação não estava no folheto, e foi feita por ele após uma crítica de Huygens publicada em seu *Systema Saturnium* (“Sistema de Saturno”).

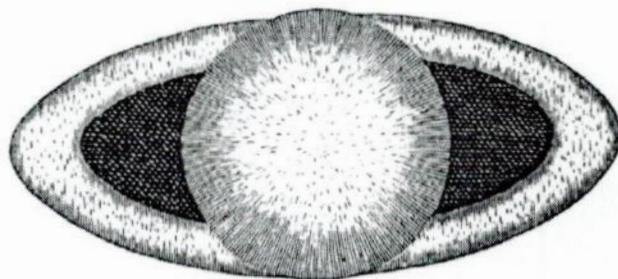


Figura 10 – Ilustração de E. Divini feita em 1649, cujo efeito sombreado era irreal.

Já no final da década de 1650, o problema das aparências de Saturno tinha se tornado um célebre quebra-cabeça. O astrônomo, exímio matemático, e famoso arquiteto londrino, Sir Christopher Wren (1632 – 1723), escreveu:

Saturno é proposto como o maior teste de habilidade [em construir telescópios]. Isto é o objetivo atrás do qual eles apontam suas visões engenhosamente fortalecidas e eles se esforçam para ligar este astro mais enganoso com as leis de uma hipótese particular. Pois Saturno sozinho é posto à parte do padrão dos corpos celestiais restantes, mostrando tantas fases discrepantes que até agora fica a dúvida se ele é um globo conectado a dois globos menores, ou se é um esferóide provido de duas cavidades conspícuas ou, se preferir, manchas, ou, ainda, se representa um tipo de vaso com alças em ambos os lados, ou finalmente, se é de alguma outra forma.

O que traz novamente a discussão sobre o fato destes resultados obtidos serem devidos ainda à qualidade dos equipamentos utilizados. É verdade que depois de 1645 a qualidade de telescópios usados pelos astrônomos melhorou rapidamente, mas este fato sozinho não pode explicar a diferença entre as observações anteriores e as posteriores. Para se ter uma idéia, as mudanças graduais observadas por Gassendi entre 1642 e 1655

(Figura 11), foram vistas através de um telescópio enviado a ele por Galileu. Pode-se assumir então, que os telescópios usados por Galileu em 1630 eram bons (ou ligeiramente melhores), do que aqueles usados inicialmente por ele, em 1610.

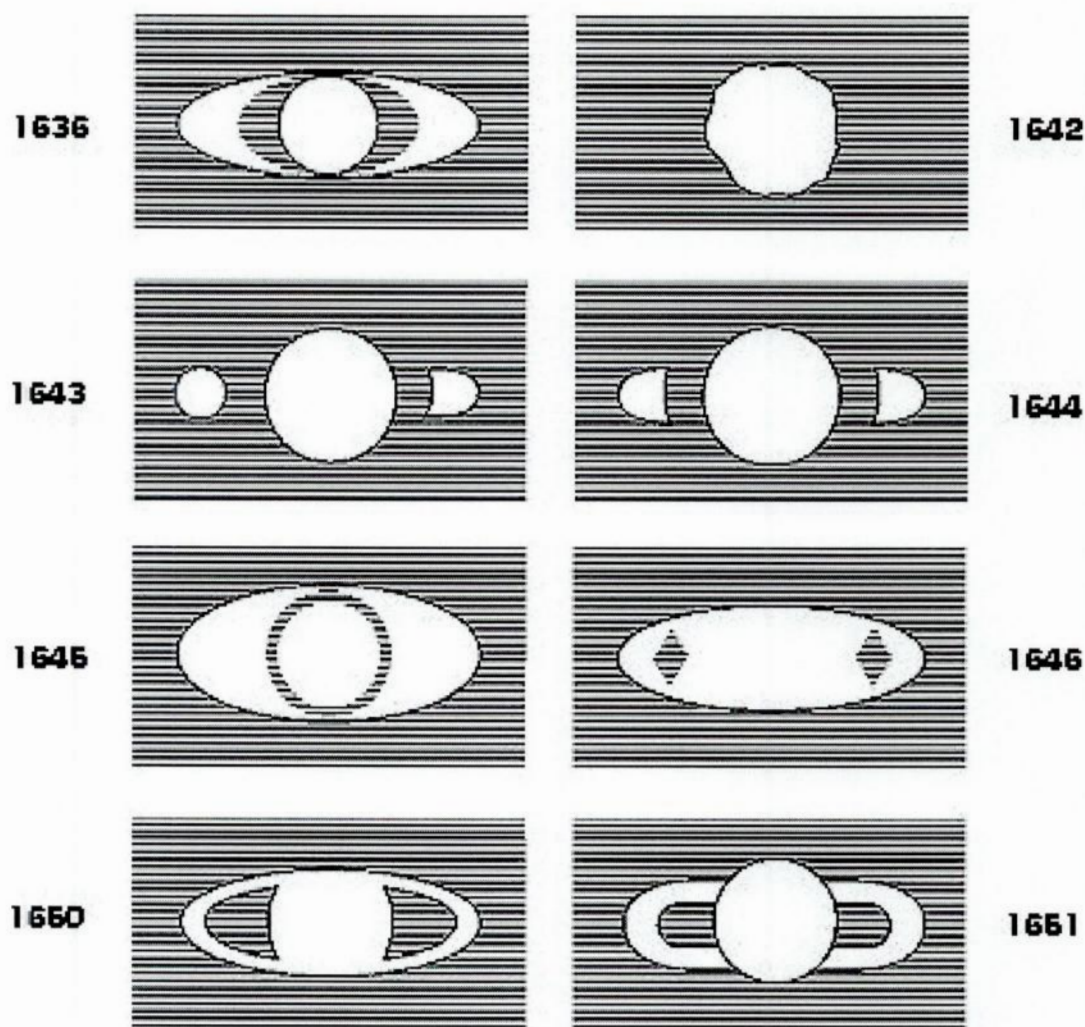


Figura 11 – Uma seleção de várias observações de Saturno realizadas por Gassendi, e publicadas em seu *Opera omnia* de 1658.

Contudo, Galileu descreveu o globo central solitário em 1612 como perfeitamente esférico. Já Gassendi, em 1642, o descreveu como “às vezes de uma forma pentagonal, mas com lados curvados e ângulos obtusos, de forma que ele se aproxime de um círculo”, sendo que, curiosamente, para esta observação ele usou o instrumento dado por Galileu. Se observações melhores fossem somente uma questão de telescópios melhores, o resultado encontrado deveria ser o inverso, ou seja, Gassendi deveria ter contemplado Saturno também esférico e não irregular (como na ilustração de 1642 da figura 11).

É importante ressaltar ainda que, das aparências mostradas nas várias ilustrações feitas entre 1610 e 1659 (ano do lançamento da hipótese anelar), algumas são “corretas”, porém outras tantas estão incorretas. O que significa que elas representavam algo distorcido devido a alguma imperfeição no conjunto ótico, ou até mesmo uma ilusão de ótica. Hoje se sabe, por exemplo, que das várias representações de Gassendi publicadas em seu *Opera omnia* (Figuras 5 e 11), as assimétricas não têm nenhuma base na realidade;¹⁸ sabe-se também que os pontos luminosos nas extremidades das “alças” vistos por Fontana (Figura 6b), foram devidos aos problemas causados pela curvatura imperfeita das superfícies das lentes objetivas; e, segundo alguns autores, o globo central na forma oval observado por Hevelius (Figura 9) era uma ilusão de ótica.

Porém, como seria para um observador naquela época saber qual observação deveria aceitar e qual deveria rejeitar, sem que ele tivesse qualquer conhecimento sobre o que é certo ou errado?

Uma teoria completa se fazia necessária.

¹⁸ Mais adiante (conforme será visto no capítulo 8), alguns observadores notariam também pequenas assimetrias nas “alças”, mas eles usaram telescópios bem superiores, com os quais era possível notar estas irregularidades. Alguns anos depois disto, foi provado que realmente existiam estas assimetrias. Já no caso das irregularidades registradas nas primeiras décadas em que Saturno foi observado elas foram vistas, muito provavelmente, por causa da deficiência ótica dos equipamentos usados.

4. TEORIAS CURIOSAS

Antes de James Clerk Maxwell e sua teoria definitiva (que será vista com ênfase no capítulo 10), veio Christiaan Huygens. E antes dele, várias teorias tentaram explicar as diferentes formas de Saturno, sendo a maior parte delas um tanto quanto curiosas.

Um dos primeiros a investir numa possível solução foi o astrônomo, ótico italiano e monge Antonius Maria Schyrllaes de Rheita (1597 – 1660), que em sua obra *Oculus Enoch et Eliae sive Radius sidereo-mystico* (“O olho Enoch e de Elia ou Raio de um místico astro”) de 1645, sugeriu que cada corpo lateral de Saturno tinha um hemisfério iluminado e outro escuro, ou seja, nem eles, nem Saturno receberiam toda luz do Sol. Ele afirmava ainda que estes corpos giravam ao redor de Saturno sem mudar a direção de seus eixos em relação às estrelas fixas, alegando que todas as aparências de Saturno poderiam ser explicadas por esta teoria. Todavia, ele não disse nada sobre os períodos do movimento dos corpos laterais em torno de Saturno, e ignorou completamente a forma do planeta com “alças”. Devido às inúmeras lacunas deixadas por esta teoria, ela teve pouquíssima repercussão.

Francesco Fontana foi outro a dar sua interpretação sobre este fenômeno em 1646, quando finalmente foi lançado seu já citado *Novae coelestium*. Ele comentou e ilustrou (Figura 6b) que os astros colaterais estariam fixos ao globo central de Saturno através de alças. Mas ele logo desistiu desta teoria por causa das constantes mudanças que ocorriam na forma destes corpos, deixando esta responsabilidade para os futuros observadores.

Já em 1647, Johannes Hevelius declarou em seu *Selenographia* que era:

...completamente da opinião de que Saturno não aparece sempre oblongo e pontiagudo com os dois globos pequenos, mas que ocasionalmente estes globos se escondem atrás de Saturno, como dois astros que giram ao redor de Saturno...

Contudo, ele não soube o que fazer com a aparência de Saturno com “alças”, conforme relatou neste outro trecho:

O que os corpos destes dois braços de Saturno podem ser na realidade: se eles são sempre visíveis em uma forma como a da Lua crescendo e minguando, e à mesma distância de Saturno e com a mesma largura, ou se eles são em parte corpos redondos que em tempos definidos aumentam e diminuem e variam seus movimentos, e às vezes chegam mais perto de Saturno e outras vezes são até mesmo completamente ocultados, eu não pude determinar até agora. Isto é porque o planeta completa seu período muito lentamente, e, além disso, precisa de observação diligente por muitos anos... tubos mais longos, equipados com lentes engenhosamente polidas. Então eu retenho meu julgamento e reservo este assunto para outro momento.

E realmente o fez, já em 1656, como será visto ainda neste capítulo. Entretanto, o que se nota nesta passagem de Hevelius, é que ele começava a tocar nas questões que realmente interessavam para solucionar o problema, como por exemplo, se a largura dos corpos laterais era constante ou não.

Antes disso, porém, Pierre Gassendi expressou uma opinião semelhante a de Hevelius, em 1649, após observar Saturno intermitentemente durante dezesseis anos:

Algo poderia ser acrescentado sobre a ocultação das duas alças de Saturno; mas, de fato, com que períodos, & em que seqüência de transformação elas acontecem, é uma questão a ser determinada pela posteridade, quando eles terão investigado mais completamente.

E dois anos depois Giambattista Riccioli veio com a mesma conclusão, dizendo “nada me ocorre que satisfaça completamente”.

Todos estes observadores pensaram em termos de algum tipo de movimento dos corpos laterais em relação ao corpo central (idéia herdada de Galileu), embora a aparência de Saturno com “alças” fosse bem conhecida naquela ocasião. O problema era a total incompatibilidade da aparência de corpo triplo com a do planeta com suas “alças”. Em 1650, a aparência “tri-corpórea” ainda era a primária, na qual se baseava o modelo de algum tipo de satélite de Saturno, fazendo com que a forma com “alças” fosse considerada uma anomalia. Porém, durante os cinco anos seguintes, com base em

quase dez anos de observações do planeta com suas “alças”, a situação foi invertida, ou seja, esta aparência passou a ser a primária, na qual eram baseados os novos modelos explicativos, enquanto a aparência de corpo triplo se tornou anômala.

Entre a aparição “solitária” de 1642 e a de 1655-56, um extenso e sofisticado corpo de conhecimento relativo às aparências de Saturno foi montado. No começo da década de 1640, as discussões tinham sido muito qualitativas, apresentando as aparências como elas eram, entidades separadas, descontínuas, e quase excludentes. Contudo, dez anos depois veio um significativo avanço: as aparências eram consideradas uma progressão contínua. Observações detalhadas mostraram que o observador dedicado poderia descobrir mudanças ano após ano, como é ilustrado por este trecho extraído de uma longa passagem sobre Saturno no *Animadversiones* de Gassendi:

No ano 1646 esses interstícios escuros começaram a ser borrados perto das pontas, & o brilho das alças quase se misturou com o brilho do globo do meio, o qual então começou a parecer um pouco sensivelmente distinto dos mesmos [Figura 11].

No começo da década de 1650, as “alças” de Saturno começaram a encolher, e a sucessão de formas que ocorria desde 1642 até 1649 foi invertida. Por volta de 1653, o planeta foi visto novamente como um corpo triplo, e no final de 1655, os corpos laterais tinham desaparecido completamente, e Saturno apareceu solitário e esférico novamente.¹⁹ Neste tempo um grupo de observadores experientes estava esperando este evento, e a partir de então um grande número de modelos para explicar as aparências de Saturno foi apresentado. Alguns destes eram meras sugestões, mas outros foram apresentados como teorias totalmente articuladas.

Infelizmente, 1655 foi também o ano da morte de Gassendi. Ele morreu em outubro esperando ansiosamente a aparição “solitária” de Saturno. A morte não só lhe tirou a oportunidade de testemunhar o desaparecimento das misteriosas “alças”, mas também de participar das vívidas discussões sobre as conjecturas e hipóteses relativas às aparências de Saturno, que foram formuladas logo após este evento.

Esta série de teorias surgidas durante e após aquela última aparição “solitária” de Saturno teve início com Christiaan Huygens, que em 1655 começou a observar o

¹⁹ Toda esta evolução será mais bem compreendida quando o problema das aparências for solucionado, no próximo capítulo.

planeta, quando as “alças” ainda não haviam desaparecido. Em 1656, ele publicou sua hipótese na obra intitulada *De Saturni luna observatio Nova* (“Uma nova observação sobre a lua de Saturno”) na forma de um anagrama, o qual só teve a solução divulgada em 1659. Neste tratado, Huygens também desafiou os cientistas da época a lançarem suas idéias a respeito de Saturno. Este assunto será amplamente abordado no próximo capítulo, no qual será dado um tratamento especial à solução de Huygens, que ficou conhecida como “hipótese anelar”.

Enquanto o anagrama não tinha sua resposta divulgada, várias hipóteses foram publicadas sobre as aparências de Saturno, e várias outras circularam em forma de manuscritos.²⁰ Hevelius, que estava esperando a próxima aparição “solitária” de Saturno para se manifestar novamente, veio a público com uma hipótese logo após o inverno de 1655-56, quando o desaparecimento dos corpos laterais ocorreu. Sua obra intitulada *Dissertatio de nativa Saturni facie* (“Dissertação sobre a nativa face de Saturno”), foi publicada em junho de 1656, e não foi escrita em resposta ao desafio lançado por Huygens. Neste trabalho, Hevelius mostrou a periodicidade correta dos desaparecimentos das “alças” de Saturno como sendo algo em torno de 15 anos, todavia errou na tentativa de explicar as várias aparências do planeta.

Com base nos registros de Hevelius publicados em seu *Selenographia*, o astrônomo holandês Johannes Phocylides Holwarda (1618 – 1651) sugeriu em seu *Philosophia naturalis seu physica vetus-nova* (“A filosofia natural ou a nova-velha Física”) de 1651, que Saturno teria um corpo central em forma de ovo, com dois “braços” em forma de crescente anexos. Aproveitando esta idéia, Hevelius construiu sua hipótese, na qual propôs que a forma de Saturno era, de fato, a de um ovo com dois “braços” fixos, e que todo este conjunto giraria em torno do eixo menor (Figura 12). Desta forma, quando Saturno fosse visto de lado pareceria redondo e solitário.²¹

Para explicar a rotação de Saturno em relação à Terra, Hevelius supôs que ou o planeta se movia em um epiciclo, que giraria em torno do *orbis magnus eccentricus* de Saturno (*i.e.*, seu deferente), ou então se movia em uma órbita elíptica sem girar em relação às estrelas fixas. Ainda de acordo com ele:

²⁰ Algumas destas teorias surgiram como resposta ao desafio lançado por Huygens, mas outras não, pois, como será visto, já vinham sendo preparadas pelos seus autores antes mesmo de Huygens começar a observar Saturno.

²¹ Somente depois de 1691, quando Giovanni Domenico Cassini notou, com um telescópio superior ao de Hevelius, a forma oval de Júpiter, os cientistas passaram a estudar o achatamento dos planetas. O primeiro a observar, realmente, este fenômeno em Saturno foi William Herschel, em 1789, com um telescópio muito melhor que o de Cassini.

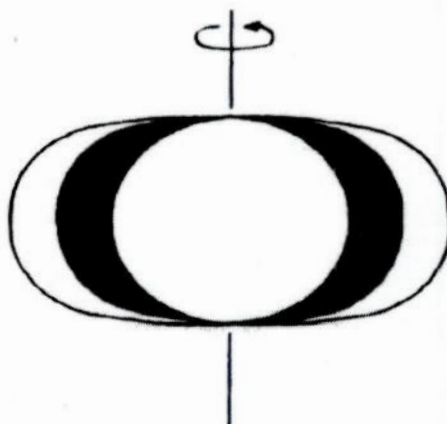


Figura 12 – Ilustração que mostra a hipótese de J. Hevelius com o globo central oval, e indica o eixo de rotação de Saturno e seus “braços”.

Saturno apresenta cinco diferentes formas ao observador — a saber: primeiro, a *monosphaericus* [“mono-esférica”]; segundo, a *trisphaericus* [“tri-esférica”]; terceiro, a *sphaerico-ansatus* [“esférica com alças”]; quarto, a *elliptico-ansatus* [“elíptica com alças”]; quinto, e finalmente, a *sphaerico-cuspidatus* [“esférica cuspidada”].

Hevelius construiu um esquema explicativo para sua hipótese, no qual a fase mais aberta era a *elliptico-ansatus*, que segundo ele, sempre ocorria no afélio e no periélio de Saturno, e a fase *monosphaericus*, a mais fechada, ocorria sempre nas longitudes médias (Figura 13). Hevelius resumiu as fases e seus lugares no zodíaco em uma tabela de observações feitas entre 1610 e 1656, e também confeccionou as efemérides para os próximos cinquenta anos. Assim, de acordo com ele, a próxima aparição “solitária” de Saturno estava prevista para ocorrer entre março de 1672 e abril de 1673 (uma estimativa razoável, posto que tal fato ocorreu em meados de 1671, e se estendeu até o ano seguinte, conforme será visto mais à frente).

O problema com esta hipótese era a incompatibilidade de sua forma *elliptico-ansatus* com a *trisphaericus*. Hevelius tentou explicar este problema:

...essa aparência [*trisphaericus*] só surge de uma visão alucinada, e... por causa da imensa distância e a fraqueza da emanção, ou por causa de distorção do senso [de visão], os corpos citados podem ser percebidos por nós menos bem articulados e essas partes interiores não podem ser vistas distintamente

Uma teoria de natureza bastante diferente foi formulada pelo matemático francês Gilles Personne de Roberval (1602 – 1675), como uma resposta ao desafio de Huygens. Ele supôs que Saturno teria uma zona equatorial da qual vapores subiriam em determinados momentos para se reunirem sobre o planeta, formando uma faixa sobre ele. Estes vapores seriam bem menos densos que vapores terrestres, e por isso subiriam a grandes alturas. Ainda segundo ele, algumas vezes estes vapores ocupariam completamente o espaço sobre a “zona tórrida”, enquanto que outras vezes, este espaço seria parcialmente preenchido de ar transparente, que ficaria entre a superfície do planeta e os vapores reunidos.

Assim, de acordo com Roberval, Saturno apareceria solidamente oval quando todo o espaço sobre a zona tórrida estivesse ocupado pelas emanações, e o prolongamento do globo seria de leste para oeste, visto que a zona tórrida seria uma zona equatorial. Em todos os outros pontos do planeta as emanações seriam escassas o suficiente para torná-las difusas e transparentes. Quando houvesse algum espaço entre os vapores e a superfície do planeta, Saturno apareceria circundado por dois astros, considerando que estes vapores fossem opacos e tivessem uma espessura razoável para que pudessem ser observados da Terra. Quando houvesse uma grande distância entre a superfície e os vapores, e a faixa de vapores fosse estreita, o planeta aparecia com suas “alças”. E, obviamente, quando não houvesse nenhuma emanação, o planeta apareceria solitário e redondo.

Por se tratar de uma hipótese puramente qualitativa, Roberval sofreu algumas objeções pelo fato de não ter dado mais atenção aos aspectos quantitativos, como o período e progressão das fases. Afinal de contas, qualquer pessoa poderia explicar qualquer forma postulando uma emanação conveniente, ou seja, para cada aparência haveria uma nuvem de vapores apropriadamente moldada sobre Saturno. E como Roberval explicaria o fato de todas as aparências terem uma periodicidade regular com esta teoria? Mais tarde, Huygens mostraria que isto não acontece por acaso.

Enquanto isso, outra resposta ao desafio de Huygens chegava, desta vez da Sicília. Quando Giovanni Battista Odierna (1597 – 1660), astrônomo e matemático do Duque de Palma, leu o artigo de Huygens, *De Saturni luna*, ele ficou tão excitado que se apressou em lançar sua teoria. Seu pequeno tratado, *Protei caelestis vertigines seu Saturni systema* (“Os movimentos do Proteu celestial ou o sistema de Saturno”) foi publicado no início de 1657, e nele constava sua hipótese, que considerava Saturno

como um corpo elíptico com duas manchas negras. Odierna (grafado por alguns autores como Hodierna) ainda escreveu:

Embora Saturno pareça triplo como um grande Proteu celestial, ou como o Cérbero dos céus, e se molde em diferentes formas, ele é todavia simples, e sua única grande massa persiste constantemente em sua totalidade, mas não fica, como o resto dos corpos celestes, alegre em um corpo arredondado, mas se apresenta bastante numa figura elíptica ou oviforme, em virtude de ele parecer um ovo de galinha, ou se assemelhar ao fruto de uma oliveira, ameixeira, ou palmeira. A superfície está manchada como a Lua, onde mostra oceanos furiosos cercados por terra.²²

Segundo Odierna, o corpo oval de Saturno daria uma volta completa em torno de seu eixo menor durante o período de revolução do planeta. Assim, duas vezes neste trajeto de Saturno ao redor da Terra,²³ ele apareceria redondo (sem “alças”), e duas vezes ele apareceria oval com suas manchas (com “alças”). Em seguida, apresentou uma ilustração da fase mais aberta do planeta, a qual poderia se interpretar facilmente como um anel (Figura 14). Ele ainda lamentou o fato de seu telescópio ter um aumento de apenas 20 vezes.



Figura 14 – Ilustração de Saturno feita por G. Odierna.

²² Este trecho faz alusão a dois personagens mitológicos: Proteu e Cérbero. Proteu era filho de Poseidon, deus do mar, tinha grande sabedoria e também o conhecimento dos acontecimentos futuros. Ele tinha ainda o poder peculiar de mudar sua forma à vontade. Já Cérbero era um cachorro de três cabeças que vigiava a entrada do Hades (mundo inferior).

²³ Não houve nesta afirmação de Odierna nenhuma apologia ao sistema de Ptolomeu, apenas a consideração real de que o raio da órbita de Saturno é maior do que o raio da órbita terrestre. Assim, este planeta giraria ao redor do Sol, e também da Terra.

Huygens, em seu *Systema Saturnium*, convidou Odierna para pintar manchas pretas em um ovo (com um certo sarcasmo), e descobrir por si mesmo porque sua hipótese não poderia explicar alguns fenômenos. Mas até que o livro de Huygens chegasse à Sicília, Odierna já tinha morrido.

Porém, a mais interessante de todas as hipóteses, formulada em 1658, não foi divulgada naquele período, e permaneceu no anonimato até 1661 (ano em que a hipótese de Huygens já estava bastante difundida). Seu autor, o então jovem Christopher Wren, começou a se interessar por Saturno em 1654 (o que permite concluir que sua teoria não era uma resposta ao desafio de Huygens), apesar de seus colegas de Oxford terem feito observações regulares deste planeta desde 1649.

Wren, juntamente com o astrônomo e ótico Sir Paul Neile (1613 – 1686), fez observações de Saturno utilizando telescópios de 6, 12, 24, e 52 pés (cerca de 2m, 3,5m, 7,5m, e 16m, respectivamente)²⁴ confeccionados, muito provavelmente, pelo próprio Neile. Outro importante colaborador de Wren foi o astrônomo inglês William Ball (1627 – 1690), que futuramente se envolveria, sem que tivesse qualquer culpa, em uma grande confusão por causa de uma de suas observações de Saturno, conforme será visto no capítulo 7.

Ball (grafado por alguns autores como Balle) observou Saturno em 1655 e constatou que além da sua aparência esférica, havia também uma faixa cruzando toda sua superfície (Figura 15).²⁵ Para realizar esta observação Ball usou um telescópio de 12 pés, que provavelmente foi construído por Eustachio Divini.



Figura 15 – Esboço feito por C. Huygens de uma observação realizada em 1655, e publicado no *Systema Saturnium*, no qual ele mostrava uma faixa escura cruzando o globo de central de Saturno. Esta faixa também foi observada por W. Ball neste mesmo período.

²⁴ É importante destacar que a partir deste momento, todas as referências feitas às dimensões dos telescópios dizem respeito ao comprimento de seu tubo. Quando os valores citados forem referentes à outra dimensão (como por exemplo, a abertura do tubo), isso será especificado explicitamente.

²⁵ Esta faixa era, muito provavelmente, a sombra do anel de Saturno em seu globo central. Ball divide os méritos desta descoberta com Huygens, pois apesar de tê-la anunciado antes a seus colegas ingleses, não existe registro de nenhuma ilustração sua deste fenômeno. Já Huygens, assim como Ball, também observou esta faixa escura em 1655, e foi além, fazendo um esboço do que viu, mas só o publicou em 1659, em seu já citado *Systema Saturnium*.

Em 1656, o matemático e astrônomo inglês John Wallis (1616 – 1703), que intermediava as conversas entre Wren e Huygens, relatou as idéias de Wren sobre o problema das aparências de Saturno para Huygens. Sua carta mostrava que Wren e seus colaboradores estavam pensando em termos de um movimento de rotação do planeta ao redor do eixo maior das “alças” (Figura 16). Eles haviam percebido também que estas “alças” poderiam ser tão finas que “só com as extremidades viradas para nossos olhos,... elas desaparecem e só o corpo esférico de Saturno permanece”. Mas para confirmar sua teoria era necessário saber se elas ficavam mais estreitas e finalmente desapareciam, ou se elas ficavam mais curtas antes de desaparecer. Caso a segunda alternativa ocorresse, suas idéias estariam erradas.

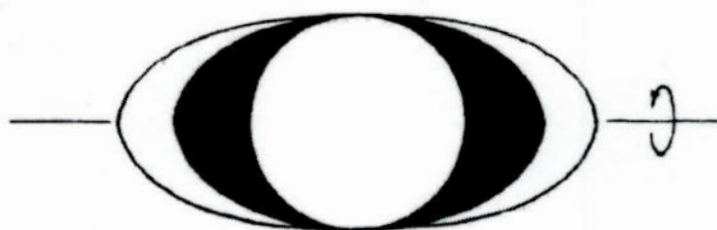


Figura 16 – Ilustração que indica o eixo no qual giraria o sistema.

Somente no final de 1657, Wren e Neile confirmaram suas suspeitas de que as “alças” de Saturno mantinham seu comprimento antes de desaparecer, e assim que reapareciam. Com isso, Wren estava apto a escrever sua hipótese, a qual, em 1658, foi apresentada e discutida por vários futuros membros da *Royal Society*²⁶ com o título *Christophori Wren Londini in Collegio Greshamensi Astronomiae professoris De Corpore Saturni ejusque Phasibus Hypothesis* (“A Hipótese de Christopher Wren, Professor de Astronomia no Gresham College, Londres, Relativa ao Corpo de Saturno e suas Fases”).

Nesta hipótese, Wren propôs que o globo central de Saturno seria cercado por uma “coroa”, cujas bordas externas e internas eram elípticas. Estas elipses tinham o semi-eixo maior de tamanhos diferentes, e o semi-eixo menor de tamanhos iguais, que

²⁶ O nome completo desta agremiação de cientistas, fundada em 1660 e oficializada pelo rei Charles II em 1662, era *Royal Society of London for Promoting Natural Knowledge*.

eram iguais também ao diâmetro do planeta, fazendo com que elas tocassem o globo central em dois pontos.

Em seu tratado, Wren escreveu que:

Sua espessura [da coroa] não é suficiente para ser vista de modo algum pelos habitantes da Terra, e por esta razão a coroa pode ser considerada como uma mera superfície.

E continuou:

Deixemos o globo de Saturno, junto com a coroa, girando em torno do eixo [maior da coroa]... uma vez durante todo o período [de revolução] de Saturno, o qual é, naturalmente, vinte e nove anos e meio, de acordo com a regra que quando Saturno está próximo do afélio [e do periélio também] em sua órbita, a coroa teria ângulos retos em relação ao plano orbital, então ela é observada completamente virada na direção do Sol e na nossa. Mas então, com o giro do globo, a coroa é gradualmente fechada (porque nós olhamos para ela obliquamente) de forma que as alças se tornam cada vez mais estreitas e finalmente são unidas. Então, com Saturno alcançando longitude intermediária, elas são vistas desaparecendo de repente. Naquele momento, o globo aparece realmente solitário porque o sol e o olho estão no plano da coroa que, por não ter uma espessura sensível — embora seja talvez de algumas milhas²⁷ — escapa da mais incisiva visão por causa da grande distância, deixando assim o globo totalmente desguarnecido.

Sobre as várias aparências de Saturno, Wren informou que existiam cinco diferentes, e afirmou que elas não ocorrem em intervalos iguais de tempo ou forma. Ele conferiu nomes a cada uma delas: primeira, *inermis* (“sem braços”); segunda, *cuspidatus* (“cuspidada”); terceira, *spiculatus* (“forma de dardo”); quarta, *ansulatus* (“com alças”); e finalmente, quinta, *plenus* (“cheia”), também chamada de *coronatus* (“circulada”). Ele disse também que fez com Neile alguns modelos de cera, para poder resolver o problema. Em sua obra, Wren ainda explicou cada uma das ilustrações

²⁷ Uma boa estimativa, visto que em 1908 o astrônomo norte-americano Henry N. Russell (1877 – 1957) concluiu que a espessura dos anéis era correspondente a 13 milhas (21km).

numeradas com algarismos arábicos de seus esboços, associando aquelas formas a cada tipo de situação em que elas pudessem ocorrer (Figura 17).

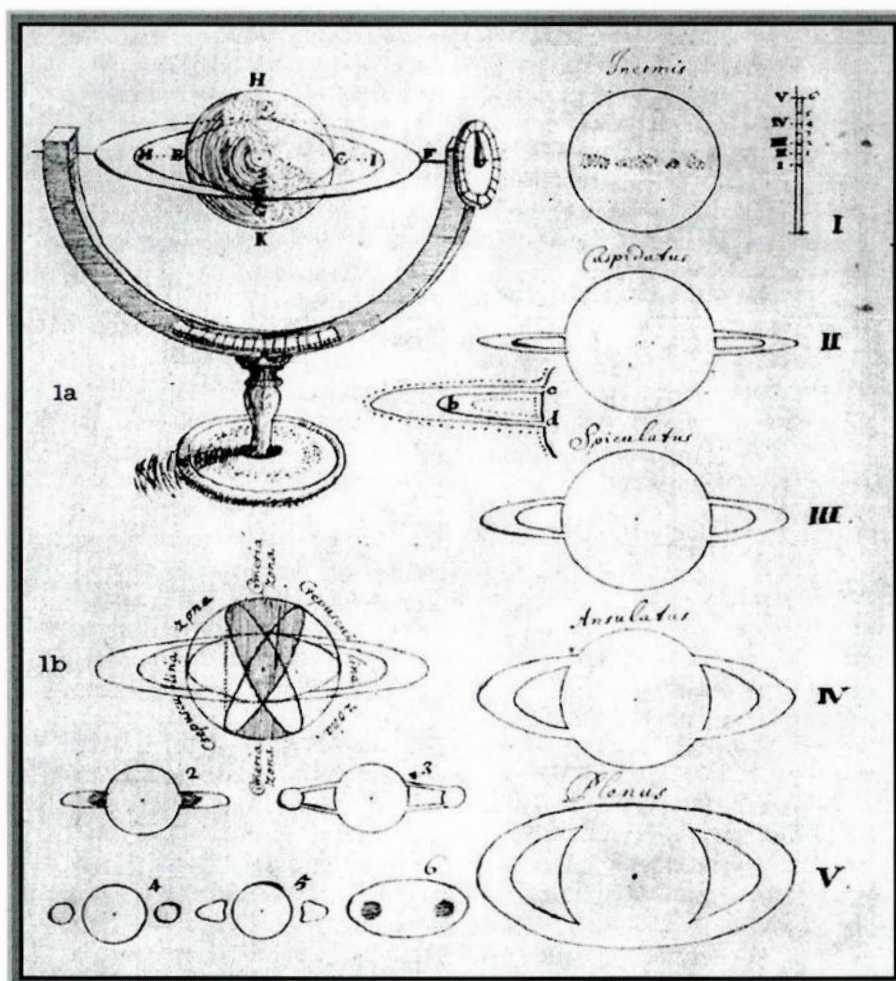


Figura 17 – Modelos e esboços de C. Wren que explicavam as várias aparências de Saturno. As ilustrações representadas por algarismos romanos (I a V) são aquelas que foram batizadas. Já aquelas em algarismos arábicos (2 a 6) representam antigas observações realizadas pelos observadores de Saturno que precederam Wren, e foram explicadas por ele em sua hipótese. (A ilustração entre as figuras II e III foi usada e é explicada no apêndice D).

De acordo com Wren, havia outras possibilidades de movimento para o sistema: a coroa poderia girar independentemente do globo central de Saturno, ou talvez o planeta tivesse um movimento de balanço. Ele considerou ainda, no final de seu tratado, a possibilidade desta coroa ser fluida, com argumentos que lembravam um pouco a teoria proposta por Roberval, mas também algumas idéias bastante originais, como por exemplo, o fato de uma coroa sólida não conseguir suportar seu próprio peso.²⁸

²⁸ Este é um dos grandes argumentos usado na solução final do problema da estabilidade dos anéis de Saturno, que será amplamente abordado nos capítulos finais.

Colaboradores e amigos incentivaram Wren a publicar sua hipótese, que até então não passava de um ensaio, mas ele acabou adiando demais esta publicação e, em 1659, Huygens chegou na frente com seu *Systema Saturnium*. Assim que tomou conhecimento da hipótese anelar, Wren declarou:

...mas quando em um curto espaço de tempo após, a Hipótese de Hugenius foi enviada por escrito, eu confesso que eu fiquei tão apaixonado pela sua elegância, & a simplicidade natural da idéia concordando tão bem com as causas físicas dos corpos celestes, que eu amei a invenção mais que a minha [própria invenção] & embora esta seja um tanto quanto equivalente com aquela de Hugenius, eu suponho que futuras observações nunca poderão determinar qual é a mais verdadeira...

E assim, Wren desistiu de publicar sua hipótese, aceitando a de Huygens como sendo a solução definitiva para o problema das aparências de Saturno.

5. HUYGENS E SUA HIPÓTESE ANELAR

Segundo William Herschel, o astrônomo holandês Christiaan Huygens (1629 – 1695) foi uma das figuras mais notáveis do século XVII. Herschel definiu seu predecessor como um hábil observador, um teórico brilhante, um artesão habilidoso, e sobretudo um grande inventor. Não por acaso, Huygens resolveu o problema das aparências de Saturno aos 26 anos de idade, em 1656, embora só tenha publicado esta solução em 1659, em sua obra intitulada *Systema Saturnium*.

Antes disso, porém, ele já fazia observações telescópicas. Em 1655, construiu, juntamente com seu irmão mais velho Constantijn, seu primeiro telescópio. Em uma carta enviada a Hevelius datada de 8 de março de 1656, ele dizia: “Somente no ano passado eu aprendi a arte de construir telescópios”. Este instrumento construído pelos dois irmãos tinha 12 pés, proporcionava um aumento de 50 vezes, e possuía uma ocular simples desenvolvida com um novo método descoberto por Huygens para dar uma curvatura bastante precisa à lente. Com este equipamento, ele fez sua primeira observação de Saturno (Figura 18), e no dia 25 de março de 1655 (Figura 19a), sua primeira grande descoberta.

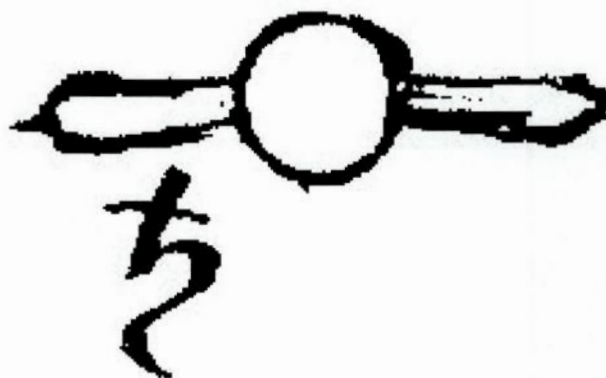


Figura 18 – Primeira observação de Saturno feita por Huygens em março de 1655.

Ao notar um pequeno astro aproximadamente na mesma linha das “alças” de Saturno, Huygens suspeitou que aquilo fosse uma lua do planeta. Após algumas noites de observação, ele confirmou sua expectativa sobre a existência de um satélite orbitando Saturno.²⁹ Contudo, Huygens não anunciou sua descoberta imediatamente. Primeiro, ele determinou o período deste satélite, e então, em junho de 1655, divulgou um anagrama no qual esta descoberta foi escondida. A solução deste anagrama só foi anunciada no outono daquele ano.³⁰ Além de Huygens, Hevelius e Wren também tinham observado o pequeno astro próximo a Saturno, mas eles acharam que se tratava de uma estrela fixa. Este fato é importante porque permite concluir que o telescópio utilizado por Huygens era tão bom quanto outros usados naquele mesmo período.

Apesar de os dois irmãos terem dedicado seus esforços durante o inverno de 1655/56 para fazer um telescópio ainda melhor e mais poderoso, antes que este instrumento fosse concluído Huygens já havia escrito para um de seus correspondentes a respeito do “Sistema de Saturno”.³¹ Isto mostra que ele resolveu o problema das aparências de Saturno não só pelo fato de ter um bom telescópio (o de 12 pés), pois vários observadores da época também tinham, mas principalmente pelo fato de ter utilizado conceitos, argumentos e até mesmo ilustrações elaboradas pelos observadores de Saturno anteriores a ele. Até porque, como mostra a ilustração de sua primeira observação, ele começou a observar o planeta quando este estava bem próximo de sua aparência “solitária”, ou seja, com suas “alças” quase desaparecendo. Este desaparecimento só ocorreria no final de 1655, e quando as “alças” tornassem a aparecer, em outubro de 1656, Huygens já teria formulado sua hipótese, que foi publicada sete meses antes deste retorno. Ou seja, ele chegou a sua teoria sem ter visto realmente algo que pudesse ser considerado de fato um anel.³²

²⁹ Quase dois séculos depois, em 1847, o astrônomo inglês Sir John Herschel (1792 – 1871), filho único de William Herschel, sugeriu para este satélite o nome Titã. Na mitologia, os deuses primitivos da geração de Cronos (Saturno) eram chamados de titãs. Este termo, porém, não é usado somente para se referir a esta legião de deuses, pois relaciona-se também com algo gigantesco, visto que imaginavam os titãs como seres gigantes. Assim, apesar do nome não pertencer a um ser mitológico específico ele permaneceu.

³⁰ O anagrama era: **ADMOVERE OCULIS DISTANTIA SIDERA NOSTRIS VVVVVVVCCRRH NBQX**, e sua solução era: *Saturno luna sua circunducitur diebus sexdecim horis quartor* (“Lua de Saturno gira em dezesseis dias e quatro horas”).

³¹ Seu telescópio de 23 pés (7m) foi usado pela primeira vez em 19 de fevereiro de 1656 e Huygens escreveu para seu correspondente A. Colvius sobre o “Sistema de Saturno” no dia 8 de fevereiro de 1656.

³² O fato de Saturno ser envolto não por um, mas por vários anéis veio a partir da descoberta da divisão de Cassini, em 1675, que será vista no capítulo 7. Assim, para evitar confusão, a partir deste capítulo e até a chegada deste evento, estes anéis serão referidos como sendo apenas um.

Em meados de março de 1656, Huygens lançou sua obra intitulada *De Saturni luna observatio nova*, a qual continha um relato completo sobre o novo satélite, uma previsão dizendo que as “alças” de Saturno reapareceriam em abril de 1656, e um novo anagrama: **AAAACCCCCDEEEEEEGHIIIIILLMMNNNNNNNNNOOOOPP QRRSTTTTTUUUUU**. Este anagrama continha informações sobre as aparências de Saturno e, segundo Huygens, foi registrado “de modo que, se alguém pensa que talvez tenha encontrado a mesma coisa, ele terá tempo para tornar isto conhecido”. Neste trabalho, como já foi dito antes, Huygens convidava qualquer um que pensasse ter solucionado seu desafio a lhe enviar tal solução.

Em abril de 1656 sua previsão mostrou-se errada, pois as “alças” de Saturno não reapareceram, e apesar de Huygens estar usando um telescópio mais potente desta vez (aquele que construiu com seu irmão no inverno de 1655-56 de 23 pés e um aumento de 100 vezes), ele não conseguia observar as “alças” como uma linha tênue no equador do planeta. O fato de sua previsão ter falhado foi algo que o deixou preocupado, e Huygens permaneceu observando até constatar que elas haviam voltado em 13 de outubro da forma como ele imaginava que aconteceria em abril (Figura 19b).

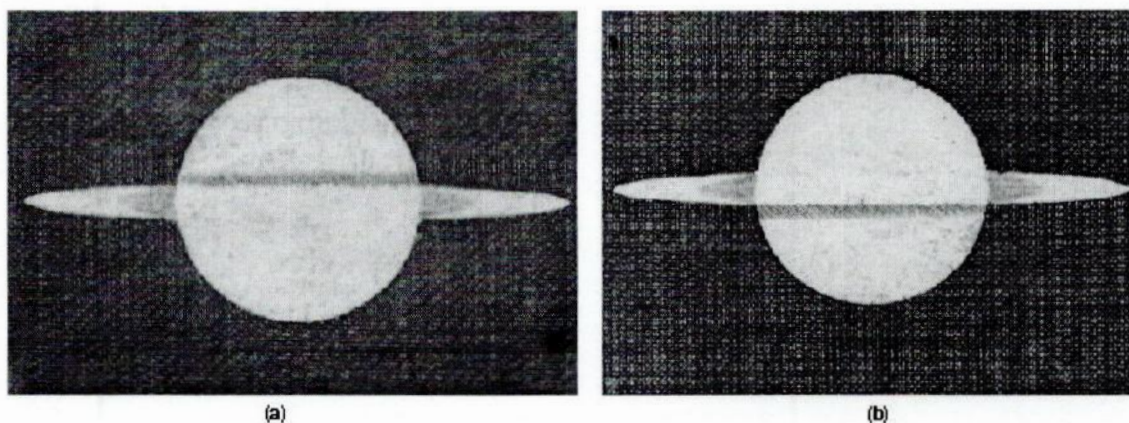


Figura 19 (a) e (b) – Saturno observado por Huygens em 25 de março de 1655 e em 13 de outubro de 1656, respectivamente.³³

³³ Os editores das *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens* (“Obras completas de Christiaan Huygens”) mostraram que em quatro ilustrações contidas no seu *Systema Saturnium* ele desenhou a faixa escura adjacente à extremidade exterior do anel (como na Figura 19). Entretanto, de acordo com as posições relativas da Terra, do Sol, e de Saturno nas datas daquelas observações, se alguma sombra pudesse ser visível, ela deveria ser adjacente à extremidade interior do anel. A explicação dada pelos editores foi que Huygens viu o “contraste produzido pelo intenso brilho do anel, se projetando contra as partes menos brilhantes da zona equatorial [cinturão] de Saturno”. Já o professor Albert van Helden não considera esta explicação satisfatória, pois segundo ele, estas zonas são muito vagas em relação ao anel, e também nunca foram observadas por Huygens. Ele continuou: “É muito mais razoável supor que, guiado por sua hipótese, Huygens olhou para a extremidade exterior escura de seu anel espesso e conseguiu vê-la, isto é, ele observou algo que não estava lá”.

Entre a publicação de seu *De Saturni luna* e seu *Systema Saturnium* mais de três anos se passaram, e neste intervalo Huygens lançou um outro trabalho também bastante importante e que gerou uma grande polêmica. No final de 1656, ele desenvolveu seu primeiro relógio de pêndulo, e, em setembro de 1658, terminou um livro sobre o assunto, intitulado *Horologium* (“Relógio”).³⁴

Com este trabalho Huygens foi acusado de plágio, pois, segundo alguns estudiosos da época, Galileu já havia desenvolvido algo a este respeito anteriormente. Seu principal crítico foi o príncipe Leopoldo de Médici (1617 – 1675), patrono da recém fundada *Accademia del Cimento*,³⁵ e membro de uma família de grandes patrocinadores da ciência (seu pai foi Cosimo II, e seu irmão era o grão-duque de Toscana, Ferdinando II). Apesar de Ismael Boulliau (que mantinha um bom relacionamento com o príncipe, e era amigo de Huygens), um dos observadores pioneiros de Saturno, interceder a seu favor nesta discussão, não foi desta vez que Huygens conseguiu contar com a aceitação do príncipe.

Até porque havia um outro problema, de cunho religioso, pois embora Huygens não fosse uma pessoa religiosa, sua nacionalidade holandesa o rotulava como um protestante, que na Itália era considerado um herege. Além disso, Huygens seguia as escolas do grande astrônomo polonês Nicolau Copérnico e do filósofo natural e matemático francês René Descartes (1596 – 1650), sendo ainda este último seu amigo e influente mestre, que lhe transmitiu a idéia dos vórtices cartesianos. Descartes postulou estes vórtices em 1644, e Huygens muito provavelmente seguiu seus passos, aplicando este conceito na solução do problema de Saturno.

Na época do lançamento de seu *Horologium*, Huygens não fez nenhum progresso na preparação de seu *Systema Saturnium*, apesar de ter continuado as observações do planeta e seu satélite. Contudo, ele começou a traçar uma estratégia a fim de fomentar especulações a respeito de seu próximo trabalho, para com ele tentar reverter a situação desfavorável criada pela acusação de plágio. Fazendo isso, ele manteria este assunto em questão em toda a comunidade científica, e teria tempo de aprimorar e concluir de vez sua obra.

³⁴ Não confundir este livro com o mais famoso *Horologium oscillatorium sive do motu pendulorum ad horologia aptato demonstrationes geometriae* (“Relógio de pêndulo ou demonstrações geométricas do movimento pendular aplicado aos relógios”), publicado em 1673, pelo próprio Huygens.

³⁵ Academia para experiências científicas instituída em Florença, e que durou de 1657 a 1667. Ela terá um papel fundamental na história dos anéis de Saturno, conforme será visto no próximo capítulo.

Assim, Huygens começou contando sua teoria a Boulliau dois anos antes de publicar seu trabalho. Boulliau além de ser seu amigo e defensor, tinha bastante prestígio em toda comunidade. Com esta atitude, ele assegurava também sua prioridade sobre esta hipótese, caso alguém viesse a tentar assumir sua autoria antes da publicação de seu tratado.

O próximo a tomar conhecimento de sua teoria foi outro amigo seu, o poeta francês Jean Chapelain (1595 – 1674), em 1658. Chapelain era também assistente na secretaria da Academia Montmor, na qual homens interessados em ciência se reuniam informalmente. Estas reuniões ocorriam na casa de Habert de Montmor, um cientista amador muito rico, e numa delas, ocorrida na primavera de 1658, Chapelain, autorizado por Huygens, anunciou sua hipótese anelar que foi recebida com bastante entusiasmo por aquele grupo.

Já no começo de 1659, John Wallis também foi comunicado por Huygens sobre seu trabalho através de uma carta, e logo espalhou a notícia entre seus colegas ingleses (foi neste momento que Christopher Wren abriu mão de sua teoria).

Desta forma, ele atingiu seu objetivo, que era criar uma grande expectativa em toda a comunidade científica da época, e quando sua obra finalmente foi lançada, não decepcionou e fez jus ao título escolhido, pois aquele era, sem dúvida, um tratado completo sobre o sistema de Saturno.

Huygens começou este seu célebre tratado dedicando-o astutamente a Leopoldo de Médici, provavelmente com uma dose de ironia tendo em vista o fato de que o príncipe o havia acusado de plágio no caso do relógio de pêndulo, mas também, possivelmente, na tentativa de conseguir um patrocínio. Todavia, talvez a real intenção dele fosse mostrar que não era um plagiador, mas sim um aliado, e assim, quem sabe, ser reconhecido como um herdeiro legítimo de seu herói italiano, Galileu Galilei. Ainda neste prefácio, ele declarou que este sistema de Saturno dava suporte ao universo heliocêntrico de Copérnico, assim como o sistema de Júpiter com suas quatro luas.

Após este prefácio, Huygens passou a narrar sua opinião sobre as observações anteriores as dele, dizendo que quando o telescópio foi usado por Galileu, no começo daquele século, para inspecionar os corpos celestes, suas observações mais surpreendentes foram as de Saturno. Ele chamou atenção para o fato de nenhum astrônomo ter conseguido explicar as causas das aparências variáveis do planeta, apesar das várias ilustrações apresentadas. Então, ele descreveu cuidadosamente seus

telescópios e discutiu suas observações de outros fenômenos celestes, apresentando algumas ilustrações deles.

Em seguida, Huygens deu uma explicação completa com desenhos, tabelas e diagramas, de todas as suas observações de Saturno e sua lua, informando ainda alguns elementos de sua órbita com boa precisão. Durante esta explicação, ele aproveitou também para discutir vários desenhos feitos por outros observadores de Saturno no decorrer dos mais de quarenta anos que precederam suas observações (Figura 20).

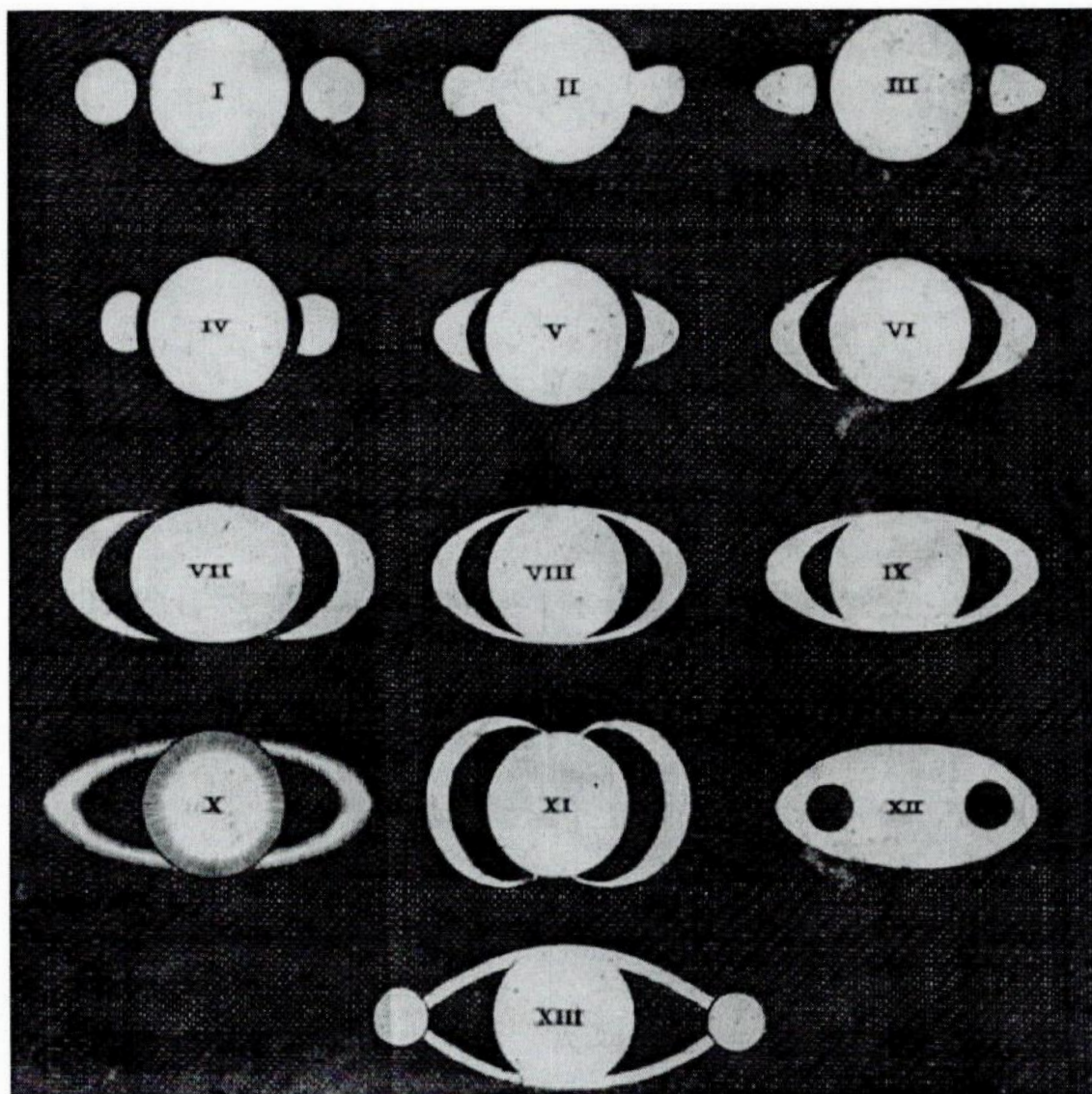


Figura 20 – Primeiros desenhos de Saturno analisados por Huygens no *Systema Saturnium*. Feitos por: I Galileu (1610); II Scheiner (1614); III Riccioli (1640 e 1643); IV-VII Hevelius (1642-47); VIII-IX Riccioli (1648-1650); X Divini (1649); XI Fontana (1636); XII Biancani (1616) e Gassendi (1638 e 1639); XIII Riccioli e outros observadores de Roma, entre eles Fontana (1644 e 1645).

Huygens argumentou que seus telescópios eram melhores que qualquer outro. Segundo ele, o único desenho que poderia ser considerado como próximo da realidade de Saturno, seria o número X de Eustachio Divini (Figura 20), com exceção do sombreamento ao redor das extremidades do globo e dos “braços”.³⁶ Ele ainda declarou:

...se os observadores que me precederam pudessem ter utilizado instrumentos mais potentes, equipados com melhores lentes, não há dúvida de que teriam visto o mesmo que eu.³⁷

Antes de começar a relatar sua teoria, Huygens ainda refutou de forma cortês e com argumentos convincentes as hipóteses de Hevelius, Roberval e Odierna, atribuindo mais uma vez o fracasso deles em chegar à solução correta ao problema da inferioridade de seus telescópios. Ele comentou também que quando o globo de Saturno era visto sem seus “braços”, ele era redondo, não elíptico, e que a impressão que alguns observadores tinham sobre uma diferença no tamanho e na distância do globo em relação aos dois “braços” era falsa.

Depois de todas estas discussões a respeito de Saturno, finalmente Huygens partiu para a apresentação de sua teoria. Ele começou declarando as bases de sua hipótese, sendo a primeira delas uma analogia feita por ele entre o sistema Terra-Lua e o sistema de Saturno com seu satélite. Como a Terra completa uma volta em torno do seu eixo em um dia, e a Lua gira em torno da Terra em aproximadamente 29 dias, isso significava que o período que Saturno levaria para girar uma vez em torno do seu eixo deveria ser algo em torno de meio dia (cerca de 12 horas — o que é uma boa aproximação para quem aplicou apenas uma regra de três simples), pois como Huygens já havia obtido, o período de revolução de sua lua era de aproximadamente 16 dias.

Além disso, baseado na mesma analogia (sistema Terra-Lua), o eixo de rotação de Saturno deveria ser perpendicular ao plano orbital de sua lua, que também era o plano no qual os “braços” permaneciam. Ainda, segundo Huygens, toda a matéria entre

³⁶ Huygens, neste trabalho, refere-se ao anel de Saturno chamando-o de “braços” (do latim, *brachi*), assim como outros autores já haviam feito anteriormente.

³⁷ Esta declaração de Huygens foi um tanto quanto injusta (segundo os que se ofenderam com esta crítica, ele foi mesmo arrogante), pois prejudicou o trabalho de homens como Divini, que vivia de seus telescópios e acabou tendo uma propaganda negativa de seu produto. Porém, ele não se manteve em silêncio e no ano seguinte ao da publicação desta obra, Divini respondeu publicamente a Huygens, contestando a superioridade do equipamento usado por ele com argumentos consistentes, conforme será visto no próximo capítulo.

Saturno e sua lua provavelmente giraria em torno do mesmo eixo, com períodos intermediários entre meio dia e 16 dias.³⁸ Se os “braços” giravam em torno deste eixo em menos de 16 dias e ainda assim não mostravam nenhuma mudança a curto prazo, então eles deveriam ter uma simetria rotacional em relação ao eixo de Saturno.

Outro fato que Huygens levou em consideração foi que até mesmo quando os “braços” estavam muito estreitos (ele usou sua primeira observação como exemplo — Figuras 18 e 19a) seu comprimento era o mesmo de quando eles estavam mais abertos, ou seja, não era o comprimento dos “braços” que estava diminuindo, mas sim a sua largura. Neste momento, ele percebeu que um anel satisfaria todas estas condições e também explicaria as mudanças na aparência de Saturno.

Então, Huygens determinou a inclinação do plano do anel (o plano equatorial de Saturno) em relação à eclíptica como sendo maior do que 20° , apresentou a solução do anagrama que ele tinha publicado no *De Saturni luna*, três anos antes: *Annulo Cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato*, que quer dizer, “Ele é circundado por um anel fino e plano, que não o toca em lugar algum, e é inclinado em relação à eclíptica” (Figura 21), e ainda estimou a razão entre os diâmetros do anel e do globo em 9:4.³⁹

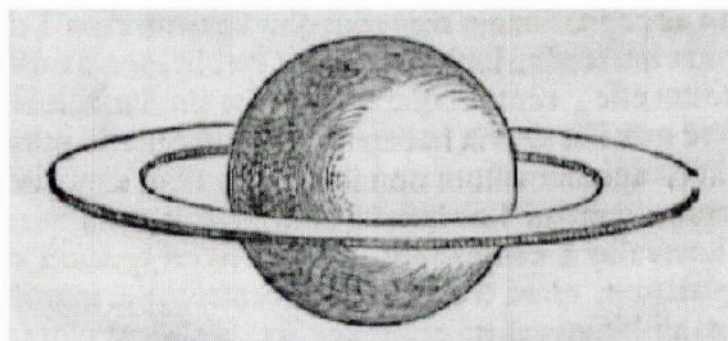


Figura 21 - Desenho de Huygens extraído do *Systema Saturnium* que mostra claramente Saturno com seu anel.

Em seguida, Huygens propôs responder antecipadamente a duas possíveis objeções que poderiam surgir a partir de sua hipótese anelar. Uma seria a afirmação da

³⁸ Embora Huygens não mencione especificamente os vórtices em seu tratado, a concepção cartesiana de vórtice tem claramente uma grande função nesta seqüência de raciocínio. Como seguidor de Descartes — quem primeiro sugeriu a idéia dos vórtices para explicar os movimentos planetários — ele acreditava que cada planeta era o centro de seu próprio vórtice de matéria.

³⁹ Com relação ao valor da inclinação, Huygens fixou mais à frente, neste mesmo tratado, e a seu critério, $23,5^\circ$, o que futuramente lhe causaria alguns problemas (como será visto no próximo capítulo). Já o valor da razão (9:4) foi o mesmo sugerido por Gassendi em sua *Opera omnia* de 1658.

existência de um corpo celeste cuja forma jamais havia sido encontrada antes no céu (desde a Grécia Antiga havia um axioma no qual os corpos celestes seriam esféricos). A outra era a colocação deste corpo ao redor de Saturno sem que ele estivesse preso ao globo, mas sim girando rapidamente com ele, permanecendo sempre à mesma distância do corpo central. Ele declarou ainda que sua teoria não era devido à sua imaginação como os epíclis dos astrônomos antigos que nunca foram vistos no céu, mas que foi claramente percebida por seus olhos. Segundo Huygens, um corpo na forma de anel poderia girar tão facilmente quanto um esférico em torno de seu centro, e tenderia a se aproximar deste centro sofrendo uma força igual de todos os lados, como um corpo que permanece em equilíbrio devido ao fato de sua distância ao centro ser a mesma em qualquer ponto.

Algumas questões mereciam uma explicação mais aprofundada, e Huygens tratou de abordá-las. Primeiramente, ele reportou como chegou à conclusão de que o plano do anel era inclinado. Em dois de seus diagramas ele apresentou sucessivas posições de Saturno A, D e C (Figura 22a) e L, M, N e O (Figura 22b) observadas em 25, 26 e 27 de março e em 9, 10, 11 e 12 de abril de 1655, respectivamente. Os pontos B (do primeiro diagrama — Figura 22a) e C (do segundo diagrama — Figura 22b) representam estrelas fixas, que serviram de referência para expressar o movimento diário de Saturno em relação a elas. Com o primeiro diagrama, Huygens mostrou que a linha dos “braços” tinha uma inclinação constante em relação à trajetória aparente de Saturno na eclíptica (reta AC). No segundo diagrama, RQ era uma linha paralela à eclíptica, que servia para mostrar a ligeira inclinação da trajetória na qual Saturno se movimentava (reta LO) em relação à eclíptica.

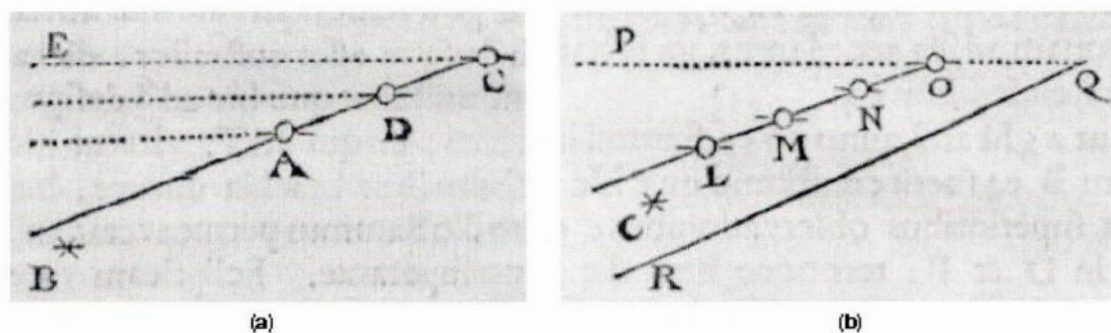


Figura 22 (a) e (b) – Diagramas feitos por Huygens relativos a inclinação do anel.

Após esta explicação, Huygens refutou a sugestão de Hevelius de que o plano dos “braços” fosse paralelo à órbita de Saturno, e tivesse uma inclinação de apenas $2,5^\circ$ em relação à eclíptica. Ele citou ainda uma observação de Grimaldi de 1650, reportada por Riccioli, a qual mostrava que estes “braços” eram consideravelmente inclinados em relação à eclíptica.

Outra questão que merecia uma explicação mais elaborada era a que definiria as várias fases de Saturno. Para isso, Huygens fez um outro diagrama a fim de esclarecer o ciclo do anel (Figura 23), no qual começou assumindo que as órbitas da Terra e de Saturno eram coplanares. Os pontos A, B, C e D (entre outros) representavam a órbita de Saturno, F e E a da Terra e G representava o Sol, sendo os pontos A e C aqueles nos quais o anel se apresentava em sua posição mais aberta em relação ao Sol e a Terra, e os pontos B e D aqueles nos quais o anel se tornava invisível para os observadores, pois era visto de perfil por um observador na Terra.⁴⁰

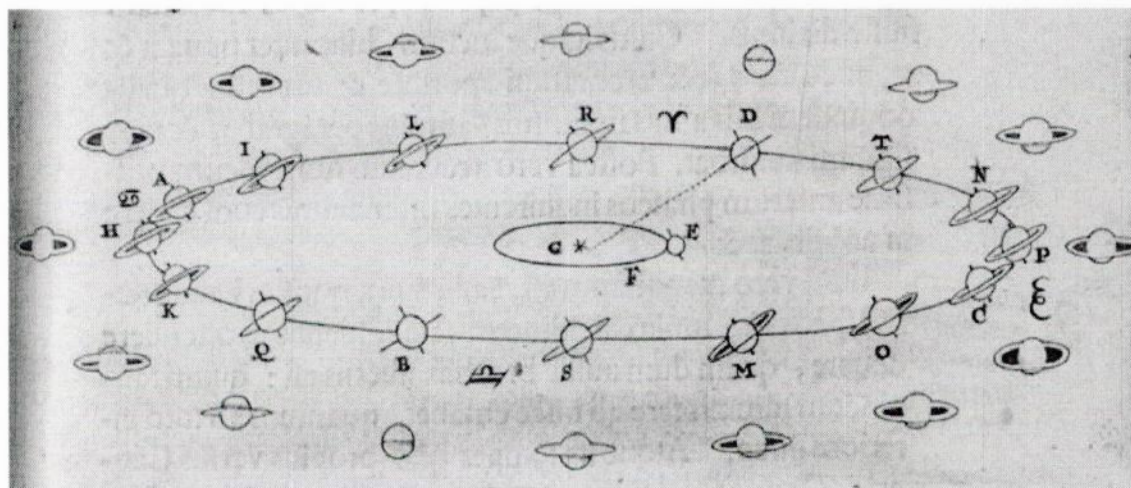


Figura 23 – A hipótese anelar.

Os símbolos entre os segmentos DR, AH, BS e CP indicavam, respectivamente, as direções das constelações zodiacais de Áries, Câncer, Libra e Capricórnio. Por fim, Huygens ainda fez análises de cada um dos outros pontos marcados por ele no diagrama, sendo a mais interessante delas a dos pontos R, Q, S e T, nos quais o anel apareceria muito estreito, e quando observado por um telescópio pequeno e imperfeito poderia ser visto como um corpo triplo.

⁴⁰ Como as órbitas consideradas neste diagrama não são realmente coplanares, o anel só desaparece quando o Sol ou a Terra atravessam seu plano.

Com esta explicação, Huygens mostrou que a mesma fase se repetiria sempre que Saturno chegasse novamente ao mesmo ponto de sua órbita. Ele disse ainda que quando o planeta fosse observado nas posições A e C (anel mais aberto) ele seria mais brilhante, inclusive a olho nu, do que quando visto nas posições B e D (anel de perfil). Com relação a invisibilidade periódica do anel, ele se perguntou:

Por que é que quando o plano do anel está direcionado para nós, a extremidade que é iluminada pelo Sol é invisível? Isso é devido à extrema finura do anel? De forma alguma... a faixa muito escura... vista durante a fase redonda [aparência solitária]... mostra indubitavelmente... que o anel... tem uma certa espessura, mas que ou a extremidade não reflete a luz do Sol, ou reflete muito debilmente.

Huygens ainda fez três previsões de quando o anel de Saturno apareceria novamente de perfil: em julho de 1671, em março de 1685, e no final de 1700. Destas três ele viveu para observar as duas primeiras.

A última parte deste tratado foi dedicada a observações e cálculos dos diâmetros dos planetas em relação ao Sol.

Este foi um trabalho revolucionário não só pelo seu conteúdo, mas também pela dimensão que ele deu a uma solução totalmente nova, a qual tornou-se amplamente conhecida. Mais ainda, cabe ressaltar a coragem ímpar de Huygens ao sugerir a existência de um anel no céu, algo que até aquele momento não se poderia imaginar.

Assim que foi lançada, esta teoria foi aceita por vários cientistas, e criticada por alguns outros, que se prenderam a problemas quantitativos na tentativa de desacreditá-la. As principais críticas à hipótese anelar de Huygens foram com relação à espessura do anel e sua inclinação.

Numa das passagens de seu tratado, Huygens chegou a cogitar que a verdadeira explicação para o desaparecimento do anel era sua extrema finura (o que lhe pouparia vários problemas futuros por se tratar da mais pura realidade), porém ele a rejeitou. Ele não percebeu que a faixa escura cruzando o globo, que ele usou como argumento para que o anel fosse espesso, era na verdade a projeção da sombra do anel no globo, e não sua extremidade que, conforme ele havia afirmado, não refletiria luz. Desta forma, ele insistiu (até sua morte) que este anel era uma estrutura sólida com espessura perceptível.

Além disso, o valor dado por Huygens para a inclinação do plano do anel em relação ao plano orbital de Saturno também não estava correto, o que levou a erros de

previsão da largura do anel em sua inclinação máxima. Este valor, no entanto, ele chegou a corrigir, como será visto no próximo capítulo.

6. A RECEPÇÃO DA HIPÓTESE ANELAR

Embora todas as hipóteses rivais se ajustassem a uma ou mais aparências observadas de Saturno, nenhuma delas, exceto a de Huygens, poderia responder por todas as fases e explicar o mecanismo que as produzia. Mesmo assim, esta teoria teve alguns problemas em sua recepção, provavelmente pelo fato de ser muito audaciosa para sua época, e certamente por ter algumas deficiências.

Mas, curiosamente, algumas destas falhas de Huygens passaram despercebidas pelos seus colegas e críticos, principalmente pelo fato de serem aceitas como verdade pela grande maioria deles. Talvez a mais interessante delas tenha sido quando ele descobriu o satélite de Saturno, e notou que naquele momento havia seis planetas (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno) e seis satélites (a Lua, as quatro luas de Júpiter e uma de Saturno). Esta configuração, segundo Huygens, era perfeita e fez com que ele declarasse que nenhum novo membro do Sistema Solar (planeta ou satélite) seria encontrado.⁴¹ Obviamente ele estava errado, mas só foi desmentido quando um novo satélite de Saturno foi descoberto.⁴²

Assim que Huygens tornou sua hipótese anelar pública várias manifestações surgiram a respeito dela, vindas principalmente dos cientistas que de alguma forma trabalhavam neste assunto. Um exemplo já citado foi o de Christopher Wren, que ao tomar conhecimento desta teoria teve uma reação de total fascínio perante esta novidade, abrindo mão de sua idéia imediatamente (aquela que mencionava a existência de uma coroa em torno de Saturno).

⁴¹ Com já foi dito, Huygens não era religioso, mas talvez, como muitos naquele tempo, também acreditasse em semelhanças existentes entre fatos bíblicos e o Universo. Por isso, a consideração feita por ele sobre o Sol e os doze astros menores ao seu redor pode ter surgido de uma associação com Jesus e seus doze apóstolos, ou até mesmo com Jacó e seus doze filhos. Ou poderia ser até mesmo uma influência do antigo sistema sexagesimal sumério, que já havia dado à humanidade o ano com 12 meses. E as 12 constelações do zodíaco. Mas estas são apenas possibilidades, pois Huygens não cita claramente nenhum destes fatos. Sua consideração poderia ser baseada apenas em um arranjo perfeito de números.

⁴² O segundo satélite de Saturno foi descoberto em 1671, pelo astrônomo italiano Giovanni Domenico Cassini, conforme será visto no próximo capítulo.

Em um aspecto, porém, a hipótese de Wren era mais sofisticada que a de Huygens. Segundo ele, a coroa ao redor de Saturno seria tão fina que poderia ser considerada uma mera superfície. Já Huygens havia rejeitado esta possibilidade mais elegante, assumindo que o anel tinha uma espessura perceptível, o que criava uma grande dificuldade para se entender o período de invisibilidade do anel. Contudo, apesar desta discrepância, Wren apoiou a teoria de Huygens incondicionalmente.

Seus amigos e confidentes também aceitaram a teoria. Jean Chapelain a recebeu com entusiasmo, sem fazer qualquer ressalva. Já Ismael Boulliau, após a publicação do tratado, levou algum tempo ponderando sobre o assunto, até que expressou sua opinião:

Você estabeleceu muito bem sua hipótese, & ela procede regularmente, desde que você possa persuadir como este anel pode se tornar invisível por menor que seja sua espessura. Eu sei que a natureza pode fazer um anel em torno deste corpo, & que pela [mesma] razão que a Terra está suspensa ao ar livre, um anel pode também estar suspenso; entretanto são necessárias ainda algumas experiências para demonstrar absolutamente o que você propôs.

Como Boulliau era um dos observadores pioneiros de Saturno, ele já havia observado várias fases e conhecia relativamente bem as formas apresentadas pelo planeta. Baseado nestas formas ele teve algumas reservas em relação a hipótese anelar, apesar de tê-la considerado de forma geral uma boa teoria. Boulliau observou Saturno no final da década de 1640, quando o planeta aparentava ter a forma de uma elipse. Com isto, ele questionou a inclinação sugerida por Huygens e a espessura do anel. Segundo ele, o ângulo de inclinação deveria ser mudado, e o anel deveria ser fino e elíptico. Além disso, o anel deveria estar preso ao planeta em dois pontos. Curiosamente, estas sugestões para o anel eram bem semelhantes às de Wren em sua teoria da coroa, embora não haja nenhuma evidência de que Boulliau tenha tido acesso a ela até aquele momento.

Neste mesmo período, Hevelius havia enviado uma longa carta a Boulliau, na qual dizia estar bastante chateado com as alegações de Huygens sobre a superioridade de seus telescópios em detrimento dos demais. Ele argumentava que seu telescópio era tão bom quanto o de Huygens pois, assim como ele, tinha visto também o satélite de Saturno, que julgara ser uma estrela fixa. Boulliau, que ainda fazia o papel de defensor

de Huygens, intermediava estes problemas a fim de amenizá-los, já que era respeitadíssimo entre os cientistas.

Além disso, Hevelius se opunha fortemente ao fato de Huygens ter considerado o anel espesso com uma extremidade que não refletia luz. Na verdade, ele estava insatisfeito com o trabalho de Huygens como um todo, principalmente porque desde quando ele havia publicado informações sobre a progressão e o período das fases, Huygens não havia lhe dado nenhum crédito, sendo que em alguns casos, ele nada acrescentou ao valor dado por Hevelius (como no caso do período de 14 a 15 anos no qual a aparência “solitária” de Saturno se repete).

Em relação à forma do corpo central, Hevelius insistiu que ela fosse elíptica:

...Huygens supõe talvez que eu e outros não pudéssemos discernir o que é elíptico ou esférico, ou que isto foi inventado por minha mente... ou que eu sonho bastante com isto? Não, por Hércules!

Em uma carta mais contida para o próprio Huygens, Hevelius escreveu que em 1663 ou 1664 Huygens veria que o corpo central não era esférico, mas sim elíptico, e que isto acabaria com sua discordância. Huygens respondeu que em 1663 o corpo central seria parcialmente escondido pelo anel, de forma que ninguém poderia dizer se ele era esférico ou elíptico. É claro que esta divergência era devido às hipóteses diferentes propostas pelos dois.

Enquanto isso, Huygens foi alertado sobre a elaboração de um tratado que atacaria sua teoria. Em Roma, Eustachio Divini, que estava inconformado com a crítica que Huygens fizera a seu telescópio, se juntou ao jesuíta francês e membro da Inquisição, Honoré Fabri (1607 – 1688), para confeccionar um ataque, escrito por Fabri (apesar de ter apenas o nome de Divini como autor).

Assim, em julho de 1660, o polêmico *Brevis annotatio in systema Saturnium* (“Breve anotação no sistema de Saturno”) foi publicado. O propósito deste tratado era, primeiramente, refutar a crítica de Huygens em relação ao sombreamento inserido no desenho de Divini. De acordo com ele próprio, esta sombra tinha sido adicionada para dar contraste e descrever o planeta como uma esfera. Outro propósito era mostrar os erros cometidos por Huygens em seu *Systema Saturnium*. Mas talvez o principal deles tenha sido explicar a hipótese de Fabri, não só para as aparências de Saturno, como também para todo o Sistema Solar.

Por ser católico, Fabri era absolutamente contra o sistema de Copérnico, e por conseguinte, contra as idéias mostradas por Huygens, nas quais ele sugeriu que Saturno tivesse características semelhantes às da Terra (como, por exemplo, um único satélite e a mesma inclinação do eixo). Já Fabri havia se baseado no modelo de uma Terra imóvel (como o modelo de Ptolomeu) para sustentar sua teoria.

Fabri (juntamente com Divini) foi bastante sarcástico ao se referir aos telescópios de Huygens, às suas observações, e à sua “fantástica” teoria. Ele insistiu que as “alças” apareciam realmente como esferas, e que as “cavidades das alças” (interstícios entre o anel e o globo) eram mais escuras do que o céu circunvizinho, alegando defeito em seu telescópio.

Ainda de acordo com Fabri, a faixa escura que cruzava o globo de Saturno e foi observada por Huygens quando as “alças” do planeta haviam desaparecido, não passava de “pura ficção”.⁴³ Ele também declarou que a aparência “tri-esférica” não poderia ser ignorada, e que o mecanismo que explicava a invisibilidade temporária do anel visto de perfil não era satisfatório.⁴⁴

Outras críticas feitas por Fabri à teoria de Huygens, estas mais razoáveis, diziam respeito ao fato de a hipótese anelar ser baseada numa pequena quantidade de observações realizadas num espaço de tempo muito curto. Ele afirmou que Huygens observou Saturno durante 38° de sua órbita, período no qual não poderia coletar informação suficiente sobre o planeta para sua hipótese. Além disso, Fabri também levantou a questão de que enquanto as observações de manchas solares provavam que o Sol estava girando, não havia nenhuma prova de que Saturno, ou qualquer outro planeta, também o fizesse.

Então, Fabri passou a relatar sua teoria, que foi exposta em 23 proposições, sendo que na primeira delas:

Ele [Fabri] supôs que a Terra é imóvel no centro do mundo e que as esferas celestes giram em torno dela; esta é uma opinião que ele defende com tenacidade, acreditando que ela concorda ao mesmo tempo com os decretos católicos, as sagradas escrituras, os fenômenos observados, e a razão sã.

⁴³ Curiosamente, esta faixa foi vista por observadores na Inglaterra com um telescópio construído por Eustachio Divini, que neste artigo contestou (juntamente com Fabri) sua existência.

⁴⁴ É interessante chamar a atenção que mais adiante neste tratado, por incrível que pareça, Fabri vai propor algo bastante similar para explicar as várias aparências de Saturno. Só que ao invés de uma extremidade do anel que não reflete luz, ele vai supor um satélite que não o faça.

No sistema do mundo de Fabri, os satélites de planetas como Júpiter e Saturno se encontravam sempre “acima” destes planetas, isto é, giravam ao redor de pontos atrás deles em relação à Terra central.⁴⁵ Ele declarou em seguida que Saturno não teria apenas um satélite, mas não menos do que cinco.⁴⁶ Fabri postulou (ignorando o satélite de Huygens que não atuava na explicação das aparências de Saturno), que dois dos quatro satélites restantes eram refletores de luz e giravam numa órbita em torno de um mesmo ponto atrás do planeta, e os outros dois absorviam a luz que neles incidia e giravam numa órbita ao redor de um outro ponto atrás de Saturno, sendo esta menor que a dos refletores (Figura 24).

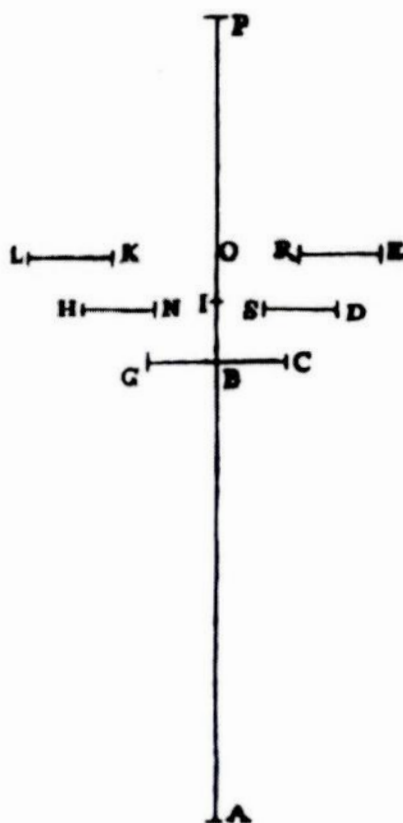


Figura 24 – A hipótese de H. Fabri. Onde: AP seria a linha que passava pelo centro da Terra e também pelo centro de Saturno; GC representava Saturno (somente pelo seu diâmetro); HN e SD eram os satélites que absorviam luz e que giravam ao redor de I; e LK e RE eram os satélites refletores de luz que giravam ao redor de O.

⁴⁵ Alguns anos mais tarde, em 1664, Giovanni Cassini observaria a sombra dos satélites de Júpiter passando através do disco do planeta, o que sepultaria de vez este sistema proposto por Fabri (ptolomaico).

⁴⁶ Segundo Fabri: “Não há razão alguma para achar estranho que Saturno tenha cinco satélites, pois Júpiter tem quatro, o Sol dois [Mercúrio e Vênus], a Terra um, e Marte talvez três ainda não descobertos”.

As várias disposições destes quatro satélites em relação ao globo central explicariam todas as aparências observadas de Saturno. Por exemplo, quando eles estivessem dispostos em sua elongação máxima em relação à linha AP (como na Figura 24) o planeta apresentaria a aparência “com alças” para quem o observasse da Terra. Já a aparência de corpo triplo ocorreria quando os satélites que absorvem luz estivessem escondidos atrás de Saturno, e a aparência “solitária” quando os quatro estivessem escondidos atrás do planeta.

O curioso é que este tratado, assim como o *Systema Saturnium*, também foi dedicado ao príncipe Leopoldo de Médici, fazendo dele uma espécie de juiz deste debate público. Esta era uma situação nada confortável para ele, pois tinha que escolher entre uma elegante teoria lançada por um herege seguidor de Copérnico, e uma teoria ridícula lançada por um membro da Inquisição que insistia que a Terra era o centro do universo. Além do que, seria complicado dar sua aprovação para qualquer uma delas, pois ambas apresentavam problemas evidentes.

A solução encontrada por Leopoldo foi brilhante! Ele sugeriu que sua *Accademia del Cimento* analisasse ambas as hipóteses, e seus membros encontraram um método bastante engenhoso para testá-las: fizeram modelos tridimensionais das duas teorias. Assim, no verão de 1660, estes modelos foram postos nas longas galerias do Palácio Médici e iluminados por tochas, para que pudessem ser observados a diferentes distâncias e com telescópios de qualidades distintas (às vezes também até a olho nu).

Os testes feitos com o modelo da hipótese de Fabri foi explicado pelo cientista italiano Giovanni Alfonso Borelli (1608 – 1679), membro da *Accademia del Cimento*, em carta ao príncipe Leopoldo de Médici:

Um dispositivo foi construído que representava o sistema de Saturno de acordo com a posição do padre Fabri, e posto a distâncias convenientes, recebendo sua luz de quatro tochas. Com telescópios de vários tamanhos e perfeição, só era possível representar realistamente com este dispositivo a aparência... [“tri-esférica”]... e também a solitária de Saturno... mas aquela continuação das alças luminosas que abraçam Saturno... nunca foi reproduzida, embora as combinações dos pequenos planetas variassem bastante.

Já o modelo de Saturno cercado por um anel (Figura 25), nas proporções indicadas por Huygens, também foi observado por várias pessoas. Todavia, como a maior parte dos envolvidos no experimento já tinha um conhecimento prévio da configuração real do modelo, eles criaram um grupo de controle com pessoas não treinadas em astronomia e que não tivesse a menor idéia do que estavam observando, para que elas pudessem desenhar o que viam, sem sofrer qualquer influência da forma do modelo. Segundo Borelli:

Então... muitas pessoas, entre as quais também algumas muito ignorantes, e que não tinham visto a forma deste dispositivo de perto, foram chamadas para observá-lo, e foram postas para vê-lo a uma distância de 37 braccia [cerca de 20m], e desenhá-los, cada uma por si, o que elas pareciam ver, e deste modo era óbvio que a aparência que quase todos desenhavam era o disco de Saturno no meio de duas pequenas bolas redondas e separado delas por uma sensível distância.

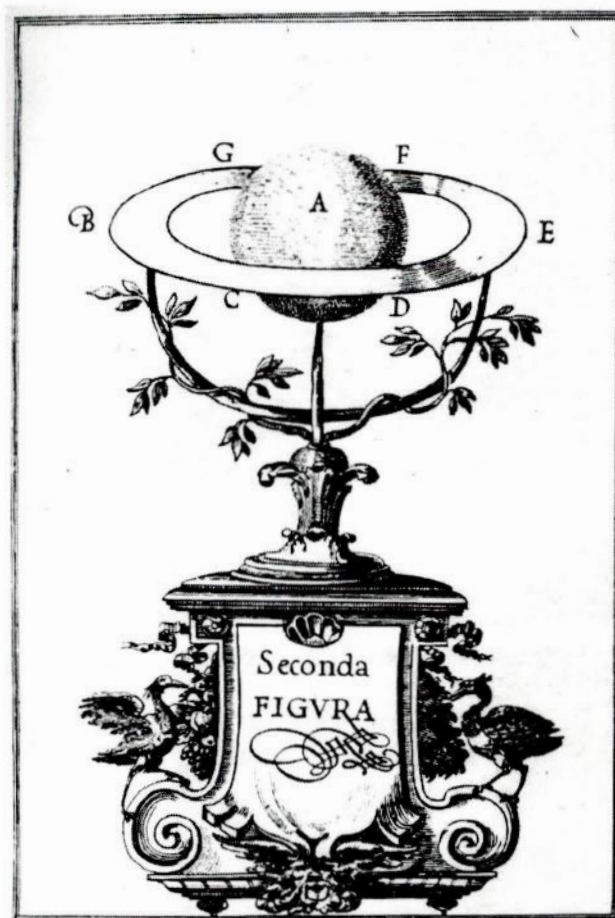


Figura 25 – Modelo usado pela *Accademia del Cimento* para testar a hipótese de Huygens.

Esta passagem mostra que a aparência de corpo triplo poderia ser vista com o modelo da hipótese anelar. Além dela, a aparência com “alças” também foi observada, faltando apenas a “solitária”. Esta, porém, apresentou problemas pois, como o modelo foi construído nos moldes da teoria de Huygens, o anel era espesso, e por isso continuava sendo visto mesmo quando estava de perfil, independente do material que os membros da *Accademia del Cimento* usassem para cobrir sua extremidade. Com relação a isto, Borelli escreveu:

...não tendo nenhum exemplo na natureza de um material tão inapto para a reflexão de luz, nós não podemos imaginar que o material, qualquer que seja, do qual um anel deste tamanho é feito, não deveria ser detectado, nem mesmo por uma luz fraca ou resplendorosa de reflexão, despejando sua emanção lateral na região do éter escuro.

Para tornar este modelo mais condizente com as observações, os acadêmicos o ajustaram fazendo um anel fino, tomando muito cuidado para eliminar qualquer aspereza em sua superfície, visto que qualquer irregularidade no anel seria observada como uma mancha brilhante quando ele estivesse exatamente de perfil. Desta forma, eles tiveram êxito fazendo o anel parecer invisível quando observado neste período.

Em 17 de agosto de 1660, Fabri recebeu em Roma um pacote com cópias das correspondências trocadas entre acadêmicos e o príncipe Leopoldo sobre seu tratado. Este pacote ainda continha pequenas demonstrações, mostrando que a teoria de Huygens não poderia ser rejeitada arbitrariamente por Divini. E que, embora ele concordasse com as críticas de Fabri em relação à hipótese anelar, a suposição do padre em relação aos satélites que não refletiam luz, era exatamente análoga (e, por implicação, igualmente insatisfatória) à sugestão de Huygens de uma extremidade coberta de material não refletor.

Mas estas conclusões não foram baseadas apenas nas observações dos modelos. Os membros da *Accademia del Cimento* também observaram Saturno diretamente em várias oportunidades, e numa delas, realizada no dia 20 de agosto, eles puderam constatar a sombra do globo central no anel (Figura 26), utilizando um telescópio de 18

braccia (10m). Como alguns meses depois Huygens também recebeu um pacote similar ao de Fabri, o príncipe perguntou se ele poderia verificar este fenômeno.⁴⁷

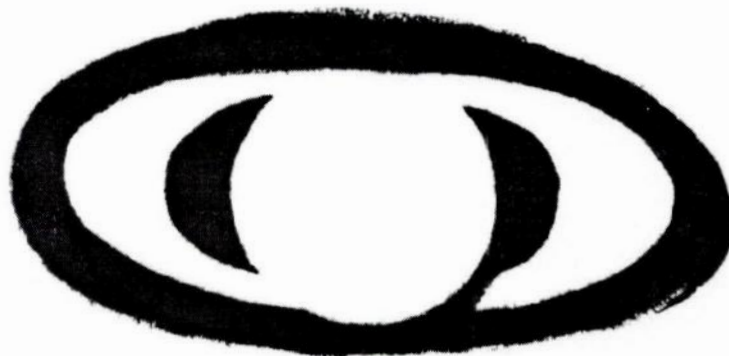


Figura 26 – Ilustração feita a partir de uma observação realizada em Florença no dia 20 de agosto de 1660, na qual pode ser vista (pela primeira vez) a sombra de Saturno no anel.

Em seu pacote, Huygens recebeu também uma carta de Borelli dando a “aprovação” que ele tanto desejou ao dedicar sua obra ao príncipe Leopoldo. Nela, o acadêmico escreveu:

Depois do livro do novo sistema sobre o globo de Saturno, recentemente publicado por Christiaan Huygens, ter sido lido e seriamente considerado pelos acadêmicos de Sua Alteza, este grande astrônomo é adequadamente julgado por merecer a sua fortuna de ser o segundo daqueles que, no espaço de muitos séculos, trouxe novos planetas do céu para a visão de homem, que é o novo astro observado por ele ao redor do planeta Saturno antes de qualquer outro homem, com a determinação de seu período de revolução.⁴⁸

Assim, mesmo com as (poucas) ressalvas feitas à hipótese anelar, após os exaustivos testes realizados com os modelos,⁴⁹ Huygens não só conseguiu a aprovação do príncipe, que àquela altura já reconhecia a “eminência de seu gênio”, como também

⁴⁷ Esta sombra foi observada pelos acadêmicos com um telescópio construído por Eustachio Divini, e serviu como uma grande evidência a favor da hipótese anelar. Huygens, porém, só conseguiu observar esta sombra em 1664.

⁴⁸ Nesta exaltação, Borelli colocou Huygens na companhia de Galileu, ao se referir a ele como “segundo” astrônomo, ou seja, Huygens conquistou a admiração que tanto almejou.

⁴⁹ Houve um grande número de reuniões da *Accademia del Cimento* durante o verão de 1660, e a maior parte delas foi dedicada ao problema de Saturno. Talvez esta tenha sido a primeira vez que uma hipótese astronômica tenha passado por investigações experimentais tão rigorosas (lembrando que Christopher Wren também construiu um modelo de sua teoria).

da única academia científica existente na época. Sendo que esta prova experimental de que um anel (fino) poderia de fato responder por todas as aparências de Saturno teve uma contribuição muito importante para a aceitação definitiva da hipótese anelar nos anos que se seguiriam.

Antes que Huygens recebesse seu pacote, porém, ele já havia publicado sua réplica da discussão pública com Divini e Fabri intitulada *Brevis assertio systematis Saturnii* (“Breve afirmação do sistema de Saturno”), e lançada em setembro de 1660. Ele começou este tratado dizendo que dois adversários o atacaram sob um nome apenas, e em seguida, continuou:

Eu acreditava que haveria objeções sutis imprevistas por mim e tiradas das profundezas da ciência astronômica com a cortesia e modéstia que servem um homem dedicado aos estudos liberais. Mas eu fui enganado — eles atacaram minhas observações sem argumentos sólidos, me acusando abertamente de inventar o contrário da verdade.

Com um raciocínio bastante cuidadoso e baseado em suas observações e na tabela do movimento do novo satélite descoberto por ele, Huygens mostrou que as afirmações de Divini (e Fabri) sobre esta lua estavam erradas, e que não tinha sentido sugerir que ela não girasse em torno de Saturno. Ele disse também que era um absurdo argumentar que as “cavidades” fossem mais escuras que o resto do céu.

Um fato que, segundo Huygens, demonstrava que os instrumentos utilizados por eles não eram muito bons, foi quando eles afirmaram que não havia faixa escura cruzando o disco do planeta durante sua “fase redonda” (como Huygens se referia a Saturno quando seu anel estava de perfil). Ele ainda disse que “caso alguém pense que eu inventei este fenômeno... ele foi constatado também na Inglaterra” (aqui ele se refere à já citada observação de William Ball, realizada em 1655). Huygens afirmou ainda que estas observações inglesas eram um testemunho independente, pois como Ball estava completamente desavisado de sua hipótese anelar, ele não poderia ter sido parcial.

Não obstante, Huygens mostrou as falhas no que chamou de “sistema ridículo”, pois para responder pelas várias formas os satélites hipotéticos deveriam, de acordo com ele, variar de tamanho. Além disso, ele afirmou que corpos esféricos não poderiam formar uma elipse aparente, que era uma das formas apresentadas por Saturno (quando seu anel estava na posição mais aberta).

Uma outra questão muito importante também foi cobrada por Huygens: qual seria o período destes satélites, posto que a aparência com “alças” era vista por vários anos? Ele também aproveitou a oportunidade para se defender da acusação sofrida devido ao seu franco heliocentrismo, e escreveu:

Ninguém em minha opinião poderia razoavelmente me reprovar por ter adaptado meu sistema de Saturno no sistema de Copérnico. Como porém Fabri proíbe todos os católicos de usar este último... eu poderia facilmente substituir pelo sistema de Copérnico aquele de Tycho. Realmente, para os fenômenos em questão não importa qual dos dois eu uso. Entretanto a verdade do assunto não pode ser explicada caso contrário teria seguido Copérnico; e além disso nosso sistema de Saturno confirma fortemente o dele.

E já no final deste trabalho, usando uma certa ironia, Huygens se referiu a teoria proposta por Fabri como uma “bela ficção de quatro globos”, e continuou:

Isto me parece ser algum truque de mágico com bolas brancas e pretas, das quais alternadamente umas e outras são mostradas ou escondidas; é a imagem que esta maravilhosa hipótese evoca.

O príncipe Leopoldo de Médici que havia reimpresso o *Brevis assertio* de Huygens em Florença, omitindo as passagens nas quais o sistema de Copérnico foi defendido, enviou para Huygens no dia 1º de junho de 1661, a réplica de seu embate público com Divini e Fabri, intitulada *Pro sua Annotatione in Systema Saturni Christiani Hugenii adversus ejusdem assertionem* (“[Eustachio Divini] Sobre a sua anotação no sistema de Saturno contra a própria asserção de Christiaan Huygens”), que novamente trazia o nome de Divini na página título.

Neste artigo, em tom mais moderado, Divini continuou sua discussão com Huygens a respeito da qualidade de seus respectivos telescópios. Enquanto isso, Fabri na tentativa de sustentar sua teoria, postulou mais dois satélites menores que refletiriam a luz solar, e que apareceriam parcialmente ao lado dos dois satélites maiores (também refletores). A adição destes satélites fez ele pensar que tinha solucionado o problema, e finalmente justificado a forma de eclipse aparente apresentada pelas “alças” em sua

posição mais aberta (Figura 27). Contudo, novamente o problema dos períodos das luas havia sido completamente ignorado.

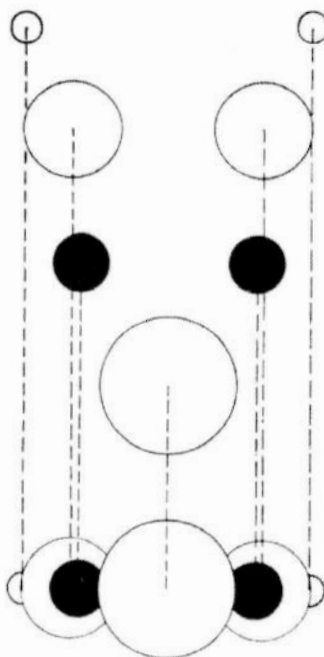


Figura 27 – A segunda hipótese de Fabri. Nesta tentativa de explicar as aparências de Saturno, Fabri postulou a existência de mais dois satélites refletores. (Desenho fora de escala)

Mas mesmo depois de divulgar este “aperfeiçoamento” na sua teoria, Fabri começou a perceber que não se encontrava numa posição favorável, e então passou a se preparar para admitir que Huygens estava certo. Assim, ele escreveu (sob o nome de Divini):

...acredite em mim, Christiaan Huygens, Fabri não se opõe à sua hipótese anelar; e ainda ele afirma bastante solenemente que ele compartilha seu desejo que este anel se harmonize com a verdade. Por isso ele está certo, muita luz será irradiada para a determinação de controvérsias de maior momento.

Fabri tentou ser justo em seus novos julgamentos sobre a teoria de Huygens, mas em determinadas questões se viu num dilema, como no caso da sombra de Saturno no anel, pois se ele negasse a validade das observações realizadas pela *Accademia del Cimento*, estaria contrariando o próprio Divini, que havia construído o telescópio (sem dizer que estaria também insultando o príncipe e sua academia). Todavia, se ele

admitisse a existência desta sombra, estaria declarando que sua própria teoria estava errada.

No entanto, a aceitação definitiva só veio em seu *Dialogi physici, in quibus de motu terrae disputatur* (“Diálogos físicos, onde se comenta sobre o movimento da Terra”) de 1665, quando Fabri escreveu: “eu não mudei minha idéia... eu não me lembro que eu de fato neguei inteiramente o anel de Saturno”. Já em seu *Synopsis optica* (“Sinopse ótica”) de 1667, ele elucidou completamente a hipótese anelar e se manifestou em total acordo com ela.⁵⁰

Após esta longa batalha, outros cientistas que estudavam Saturno vieram a se manifestar a respeito, cada qual com sua opinião. Johannes Hevelius, depois de ler o *Brevis assertio* de Huygens ficou tão impressionado com os novos argumentos usados para justificar sua hipótese anelar que abandonou sua própria teoria e a aceitou (abrindo mão das ressalvas que havia feito anteriormente).

Em 1665, foi a vez de Giambattista Riccioli, um pouco tardiamente, criticar a hipótese anelar em seu *Astronomia Reformata* (“Astronomia reformada”). Desde a publicação do *Systema Saturnium* que ele pensava em escrever um artigo refutando esta teoria. Sem contar que ele não havia acompanhado o embate público entre Huygens, Divini e Fabri. Portanto, quando praticamente toda a comunidade científica já havia se convencido de que aquela hipótese era a que melhor se ajustava aos problemas de Saturno, Riccioli surgiu como uma voz solitária.

Riccioli não estava convencido da eficiência da teoria de Huygens e dizia que ele não havia explicado suficientemente como as várias aparências espúrias poderiam ser resultados de um anel visto através de um telescópio inferior. Nesta sua obra, Riccioli declarou também preferir um anel elíptico, que tocasse o corpo central em dois pontos, os quais ficariam paralelos entre si, e girariam ou librarian em torno do eixo maior da elipse. Além disso, ele pensou que nos pontos onde o anel tocasse o corpo central suas partes seriam mais estreitas do que nas extremidades.⁵¹ O problema da

⁵⁰ Segundo o professor Albert van Helden: “Quando um simples artesão batalha com um cientista eminente em uma controvérsia pública, o resultado pode ser desastroso para o artesão”. Ele estava correto, pois o verdadeiro perdedor nesta discussão foi Eustachio Divini (o artesão), que após a vitória de Huygens teve seus telescópios desacreditados. Além disso, Divini foi também bastante infeliz em suas observações, pois outros observadores que utilizaram seus telescópios conseguiram ver mais coisas do que ele próprio (como no caso da faixa observada por Ball, e a sombra de Saturno no anel vista pelos membros da *Accademia del Cimento*).

⁵¹ Como se pode notar, esta teoria proposta independentemente por Riccioli também era bastante similar a hipótese de Wren, na qual apenas a coroa foi substituída por um anel.

inclinação do anel também foi citado por Riccioli, mas ele não apresentou nenhuma sugestão para resolvê-lo.

Este problema, na verdade, vinha sendo mencionado desde o lançamento do *Systema Saturnium*. Ninguém, porém, havia proposto uma solução concreta para ele, que acabou se tornando alvo de uma boa discussão durante a década de 1660. Isso porque por volta de 1661, a inclinação do anel ainda não estava em seu máximo, mas a elipse aparente do anel já estava quase circundando completamente Saturno. Estava claro que os valores numéricos (inclinação e/ou razão entre os diâmetros) fornecidos por Huygens não estavam corretos. Como ele havia fixado em $23,5^\circ$ a inclinação do plano do anel, teve que ajustar a razão entre os diâmetros do anel e do globo central de 9:4 para 17:6.

O matemático francês Bernard Frenicle de Bessy (1605 – 1675) não concordou com este ajuste e apresentou uma outra sugestão. De acordo com ele, a inclinação do plano do anel não era constante, ou seja, este anel girava uma vez em torno do eixo maior de sua elipse aparente durante a trajetória de Saturno ao redor do Sol. Em duas cartas escritas a Sir Kenelm Digby (membro da *Royal Society*), datadas de agosto de 1661, Frenicle explicou sua teoria com ilustrações que representavam a evolução das formas do planeta com o passar dos anos (Figura 28).

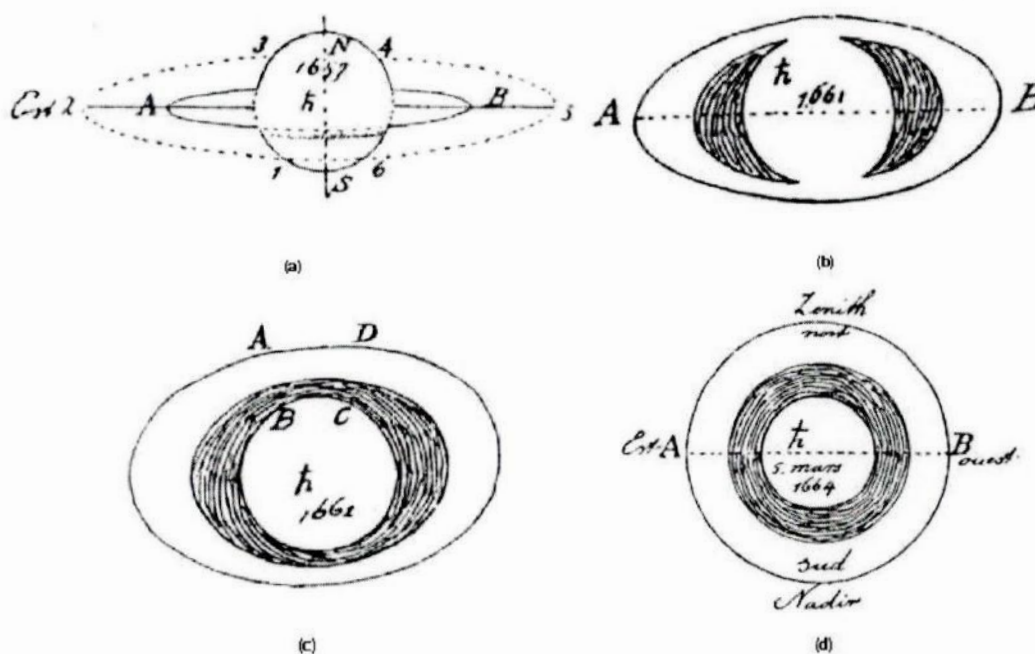


Figura 28 (a), (b), (c) e (d) – Mosaico com a sugestão de B.F. de Bessy. Na figura (a) ele representou Saturno como foi visto em 1657; na (b) como o planeta estava sendo visto em 1661; na (c) como ele seria observado em 1662; e finalmente na (d) como estaria em 1664.

Porém, esta proposta era bastante estranha, pois, decorridos quase cinquenta anos de observação, o planeta nunca tinha sido visto cercado por um anel circular conforme ele havia projetado, ainda mais como ele disse: duas vezes a cada período de revolução. Depois de algumas manifestações em relação à sua ilustração, Frenicle sugeriu que o anel não era circular, mas elíptico, e que permanecia girando ou balançando em torno de seu eixo maior.

Como Digby era membro da *Royal Society*, ele mostrou a teoria de Frenicle na reunião seguinte realizada em setembro, na qual estavam presentes Christopher Wren e Paul Neile. Este último, que conhecia a hipótese de Wren, comentou com o grupo que ele havia preparado uma teoria similar alguns anos atrás. Após relutar um pouco, Wren confirmou o que seu amigo havia falado, e então foi solicitado a ele que enviasse uma cópia desta teoria para Digby e Frenicle.

Desta forma, a hipótese de Wren foi exumada contra a sua vontade, e o único exemplar existente dela foi entregue a Neile, que enviou cópias para Frenicle e Digby, sendo que este último enviou nova cópia para Huygens. Ambos (Frenicle e Huygens) criticaram esta teoria, embora tivessem conhecimento de que Wren a tinha abandonado em 1659, e outras controvérsias só foram evitadas porque Wren ignorou as críticas. Já a propagação das cópias não foi evitada, e sem o consentimento do autor, várias delas se espalharam por toda Europa.

No entanto, o problema da inclinação do plano do anel ainda não tinha sido resolvido. A razão sugerida por Huygens para os diâmetros não parecia ser 17:6, e os astrônomos da época indicaram a discrepância para ele. Algum tempo se passou até que em 1665, o matemático francês Adrien Auzout (1622 – 1691) pediu para Huygens que medisse a razão novamente, porque ele não concordava que pudesse ser tão grande. Auzout também sugeriu que talvez a inclinação do anel fosse maior que $23,5^\circ$.

Finalmente, no começo de 1667, Huygens fez novas medidas desta inclinação. As observações feitas com o astrônomo e cartógrafo francês Jean Picard (1620 – 1682), em agosto de 1668, e publicadas no *Journal des sçavans*, conduziram a um novo valor de “aproximadamente 31° ” para a inclinação do anel em relação à eclíptica.⁵² Desta forma, Huygens reverteu novamente para 9:4 a razão entre o diâmetro do anel e o corpo, que é o valor atual.

⁵² O valor atual da inclinação do plano do anel em relação ao plano orbital de Saturno é de $26,7^\circ$. Já a inclinação do plano do anel em relação à eclíptica é de $28,1^\circ$.

O que ainda faltava ser feito em relação à hipótese de Huygens, era conferir se suas previsões sobre os próximos períodos de invisibilidade do anel estavam corretas. Segundo ele, em julho ou agosto de 1671 o anel desapareceria e permaneceria invisível até julho ou agosto de 1672. De fato, ele desapareceu pelo fim de maio de 1671, o que foi considerado razoavelmente próximo do tempo previsto. Mas em agosto ele ficou visível novamente! Huygens rapidamente determinou a causa deste comportamento inesperado: o planeta apresentou seu movimento retrógrado, retornando a um ponto de sua trajetória no qual o anel ficou visível novamente. Então, ele previu que o anel desapareceria novamente no fim daquele ano (previsão esta que foi publicada por Giovanni Cassini, em novembro de 1671). No começo de dezembro o anel desapareceu mais uma vez, e quando Saturno, após ter sido ocultado pelo Sol, apareceu novamente, em junho de 1672, o anel estava visível de novo, conforme sua previsão.

Em seguida, Huygens ajustou as previsões para as aparências de perfil de 1685 e 1701, e elas aconteceram muito perto das datas previstas por ele. Assim, por volta de 1672, o “Sistema de Saturno” de Christiaan Huygens tinha sido suficientemente ajustado para ser uma explicação astronômica completamente satisfatória, simples e elegante, das várias aparências de Saturno, e nunca mais seria seriamente contestado. Isto é, a hipótese anelar já era mais do que apenas uma teoria: tinha sido aceita como um fato pela comunidade científica. Saturno era realmente rodeado por um anel.

7. O SENHOR DOS ANÉIS

Depois que a comunidade científica adotou a hipótese anelar como sendo a solução definitiva para os problemas das aparências de Saturno, um novo problema surgiu. Apesar de Huygens nunca ter admitido que o anel fosse fino, vários destes cientistas que adotaram sua teoria o fizeram. E a questão veio à tona justamente por este fato, pois como um anel, tão vasto e também tão fino, poderia persistir se fosse sólido?

Mesmo com a mecânica ainda em fase de gestação,⁵³ alguns estudiosos especializados no assunto arriscaram palpites, mas sem nenhuma base concreta (matemática). O primeiro deles foi o poeta Jean Chapelain, que em 4 de março de 1660, em uma carta enviada a seu amigo Huygens, sugeriu pela primeira vez que o anel poderia consistir de um grande número de pequenos satélites girando ao redor do Saturno. Segundo ele:

...tendo sempre considerado seu círculo [*i.e.*, anel] saturniano como aquele que descreve a Lua em torno da Terra, e que descreverá mesmo assim se no lugar de um globo lunar ele estiver de costa a costa cercado de um número tão grande que se julgaria encher o círculo de um limite ao outro...

Esta idéia bastante inovadora não foi divulgada, e só se tornaria popular no começo do século XVIII, depois que outros cientistas (entre eles Giovanni Cassini) começaram a ter a mesma idéia, sem que tivessem conhecimento da sugestão de Chapelain.

Os acadêmicos também questionaram a solidez do anel. Em uma carta escrita para o príncipe Leopoldo, Giovanni Borelli expôs suas idéias a respeito deste fato. Primeiramente, ele sugeriu que o anel pudesse ser formado por vapores emanados de

⁵³ Ela só foi lançada em 1687, no célebre tratado do ilustríssimo cientista inglês Sir Issac Newton (1642 – 1727), intitulado *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (“Princípios matemáticos da filosofia natural”).

Saturno, e que constantemente reabasteciam esta estrutura. Estes vapores, de acordo com ele, seriam como os expelidos pelos vulcões. Em seguida, Borelli propôs que o anel também podia ser resultado de uma mistura opaca de líquidos. Sobre isto, ele escreveu que:

...se for suposto que toda a região fluida em torno de Saturno... tem uma inclinação natural de se aproximar, gravitar, e se manter aderente a Saturno, e se também se supõe que em tal região não há nenhum vento, pelo contrário está completamente tranqüila, cessando então a causa para turbulência e variação de forma, e naturalmente perseverando a gravidade para manter toda a dita região unida, e aderente a Saturno, não podendo de maneira alguma a forma do dito anel se alterar, e mudar de posição. Um efeito igual é observado em uma garrafa de vidro, na qual a água o vinho, e outros licores se mantêm separados, como faixas de várias cores, a água permanecendo no mesmo lugar, posição, e forma, todo o tempo, contanto que a água se mantenha tranqüila, e não seja agitada de forma alguma por ondas, ou outro movimento interno.

O secretário da *Accademia del Cimento*, Lorenzo Magalotti (1637 – 1712), foi outro que se manifestou em relação a este assunto. Ele, que simpatizava com a teoria proposta por Gilles de Roberval (apresentada no capítulo 4), propôs também que o anel era composto pela emanção de vapores que subiam da zona tórrida equatorial, entrando em equilíbrio a uma altitude muito grande, e congelando em “astros muito pequenos de gelo”.

Assim, pode-se notar que desde o começo, a noção de um anel sólido já era questionada, apesar de só começar a surtir efeito no final daquele século (conforme será visto mais adiante).

Antes, porém, vale citar o importantíssimo trabalho de um outro excelente fabricante de telescópios, também romano, chamado Giuseppe Campani (1635 – 1715), que em 1663 observou Saturno com dois telescópios, um de 13 pés (cerca de 4m), e outro de 18 pés (cerca de 5,5m). A partir destas observações, ele publicou, em 1664, um tratado intitulado *Ragguaglio di due nuove osservazioni* (“Confronto de duas novas observações”), que continha uma ilustração do planeta cercado pelo seu anel (Figura 29), e o seguinte texto que a descrevia:

...Saturno é cercado por um círculo, com aparência na forma de uma elipse, situado de tal maneira sobre o globo que a parte superior... esconde uma porção do globo citado, enquanto, por outro lado, a porção inferior do círculo... é escondida e em parte encoberta pelo mesmo globo, de forma que a parte inferior fique atrás, e a parte superior na frente do astro, como é sensivelmente compreendido pelo lugar aparente e a posição do círculo e por esses esboços ligeiramente sombreados do mesmo círculo, como também do globo ou disco de Saturno...

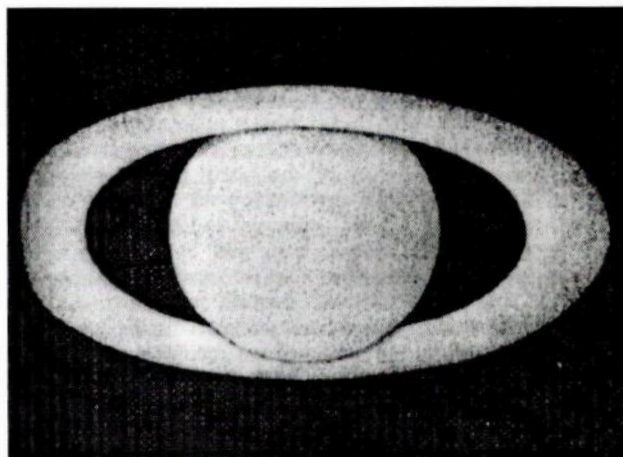


Figura 29 – Ilustração de G. Campani feita em 1663.

O matemático Adrien Auzout, entretanto, não concordou totalmente com Campani. Segundo ele, a sombra do globo central na parte inferior do anel estava correta, mas a faixa escura adjacente à extremidade interior no anel, na parte superior do desenho, não estava de acordo com suas observações. Desta forma, em sua *Lettre à M. l'Abbé Charles* (“Carta ao Sr. abade Charles”) de 1665,⁵⁴ ele escreveu:

Quanto à sombra no topo [Figura 29], a qual ele supõe que seja lançada pelo anel no corpo de Saturno, ele não poderia tê-la visto já que não deveria ser visível por causa de sua latitude norte... Deve ser o caso, portanto, de que há um pouco de preconceito nesta observação. Mas nada é mais natural, porque uma vez que é admitido que aquilo visto ao redor de Saturno é um anel que o cerca, ninguém pode se prevenir, quando vir dois pontos escuros, de desenhá-los como contínuos um ao outro, especialmente quando o ar ou o telescópio

⁵⁴ Esta carta foi escrita em outubro de 1664, assim que Auzout tomou conhecimento do trabalho de Campani.

vibram. E eu admito que desde que eu vi a figura [de Campani], me parece às vezes que eu vi a continuação, especialmente, como disse, quando o ar vibrava. Mas ao observar, como eu sempre tento fazer, sem pensar nesta ou qualquer outra forma, me parece que esses dois corpos [o anel e o globo central] são algo contínuo naquele lugar.

O fato de Campani ter mencionado em seu texto “esboços ligeiramente sombreados”, acabou dando margem para que Auzout não aceitasse sua ilustração, pois, de fato, a geometria da situação não previa nenhuma sombra do anel no corpo. Isto acabou prejudicando a descoberta de um novo anel, que só viria a ser concretizada quase dois séculos depois, em novembro de 1850.⁵⁵

Contudo, Campani se manteve firme em suas idéias. Novamente em 1664, ele enviou uma nova ilustração (Figura 30) e escreveu:

1. O círculo [anel] na parte exterior, isto é, em direção à circunferência exterior está menos lúcido e claro, até o meio de seu plano e do meio para o disco de Saturno, está mais lúcido e claro que o mesmo disco.
2. A extremidade do disco aqui e lá em direção à parte superior, aparece um pouco escurecida, quer dizer, menos clara que o restante do disco... o qual eu não disse nem acreditei ser causado pela sombra do círculo, deixando este julgamento para os astrônomos...
3. O círculo é um pouco sombreado por uma faixa vizinha à parte inferior aparente do globo.

Este trecho surpreendente mostra que Campani não só tinha visto o ainda desconhecido anel fosco (futuramente, “anel de crepe”), como também havia notado a diferença de brilho entre o anel interior e o exterior, embora não tenha observado a

⁵⁵ Quando este anel foi descoberto pelo astrônomo norte-americano William C. Bond (1789 – 1859) juntamente com seu filho, o astrônomo norte-americano George P. Bond (1825 – 1865), e também, independentemente, pelo astrônomo inglês William R. Dawes (1799 – 1868), foi mostrado que ele já havia sido observado em várias ocasiões, nos séculos XVII e XVIII por diferentes cientistas, como será visto também nos próximos capítulos. Naquela época ele foi chamado de “anel de crepe” (do inglês, *crepe ring*). Este termo foi cunhado pelo astrônomo inglês William Lassell (1799 – 1880), em dezembro de 1850, quando, após observar Saturno, notou este anel fosco que parecia, segundo ele, um *crape veil* (“véu de crepe”), e cobria uma parte do céu dentro do anel interno. Alguns autores brasileiros ao traduzirem este termo o fazem como “anel crepe” que, obviamente, não deixa de estar correto. Atualmente, este anel é chamado mais comumente de anel C.

divisão entre eles.⁵⁶ Isto mostra que era apenas uma questão de tempo (e telescópios melhores), para que a estrutura do sistema anelar de Saturno fosse modificada. O próprio Campani estava apto a dar o salto necessário para esta modificação, mas não interpretou os três anéis quase distintos que observou, deixando as glórias da descoberta para outro observador.

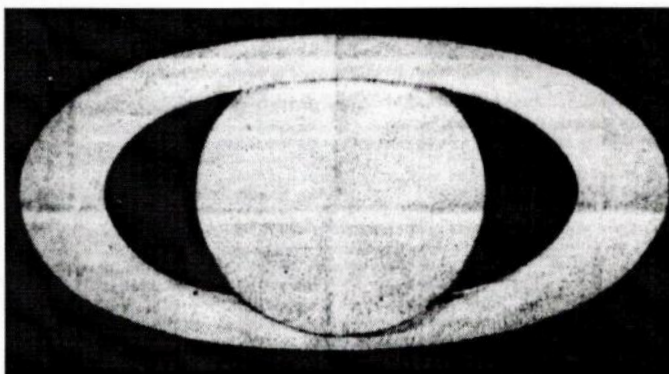


Figura 30 – Ilustração de Campani feita em 1664.

Quem também observou Saturno e notou a existência de uma tênue linha escura na extremidade interna do anel, quase um ano depois de Campani, foi o cientista inglês Robert Hooke (1635 – 1703) que, assim como grande parte dos cientistas da época, naquele momento se preocupava em observar a sombra do globo no anel, e por isso não deu tanta importância a esta descoberta, apesar de tê-la registrado numa ilustração sua publicada em 1666 (Figura 31). Ele utilizou para esta observação um telescópio de 60 pés (cerca de 18,5m).

Algo que não causou impacto algum na década de 1670 (e sequer nas que se seguiram), mas que no século XIX confundiu bastante a cabeça dos cientistas foi um artigo publicado em 1666, que informava sobre uma observação de William Ball realizada, juntamente com seu irmão Peter Ball, em 13 de outubro de 1665, e registrava a descoberta de que Saturno não seria circundado por um, mas sim por dois anéis.

Ball em momento algum reivindicou esta descoberta. De fato, não há documento escrito por ele relatando isso. O artigo citado acima (*Philosophical Transactions*, v. I, nº 9, 1666) é de autor desconhecido.⁵⁷ O mistério a respeito das observações de Ball foi

⁵⁶ Todos estes fatos serão melhor compreendidos um pouco mais à frente, quando Giovanni Cassini entrar em cena, ainda neste capítulo.

⁵⁷ Um dos possíveis autores deste artigo é o escocês Sir Robert Moray (1608 – 1673), membro fundador da *Royal Society* e seu primeiro presidente.

detalhadamente explicado ao final do século XIX, quando ficou provado que esta afirmação (dois anéis ao invés de um) não passava de um engano.

E para a elucidação deste engano, um breve interlúdio se faz necessário.

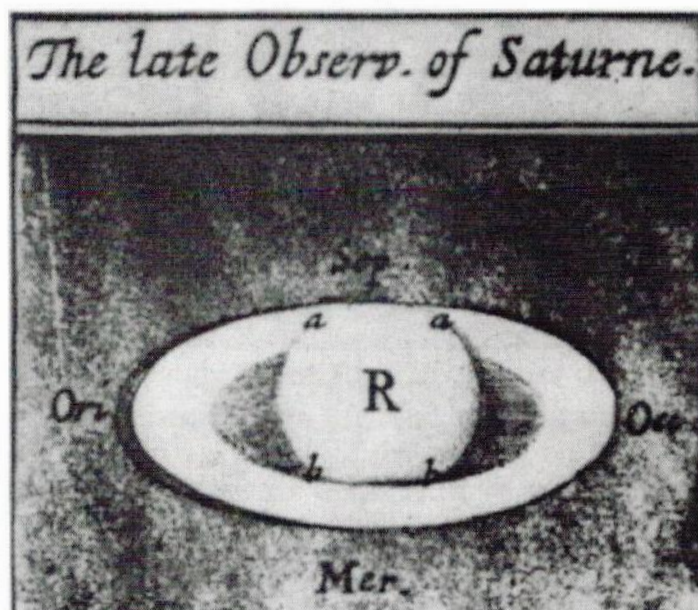


Figura 31 – Ilustração de R. Hooke publicada em julho de 1666 no *Philosophical Transactions*, volume I. O anel fosco é representado neste esboço pela linha *bb* na parte inferior.

Em 1883, o astrônomo e matemático inglês John Couch Adams (1819 – 1892), que estudou profundamente este caso, escreveu um artigo que elucidava a questão. Adams chamou a atenção para um pequeno detalhe do artigo original de 1666, que teria sido acrescentado *a posteriori*, sem o conhecimento de Ball.

Primeiramente, o autor desconhecido relatou a observação feita por Ball:

Esta observação foi feita pelo Sr. William Ball, acompanhado de seu irmão, Dr. Ball, em 13 de outubro de 1665 às seis horas... com um telescópio muito bom com cerca de 38 pés [aproximadamente 11,5m]... A observação é representada pela figura 3 [Figura 32].

Em seguida, ele citou um trecho de uma carta de William Ball, a respeito do caso:

“Assim me pareceu a presente figura de Saturno, de algum modo diferente do que eu esperava, achando que ela deveria estar diminuindo, mas a encontrei tão cheia como nunca, com uma pequena cavidade acima e abaixo”.

Adams acreditava que o autor teria inserido, a seu critério, o trecho “uma pequena cavidade acima e abaixo”, as quais na ilustração são representadas pelos pontos A e B (Figura 32). Segundo a interpretação de Adams, estas cavidades na elipse foram feitas erroneamente por Ball — um erro mecânico na construção do modelo.

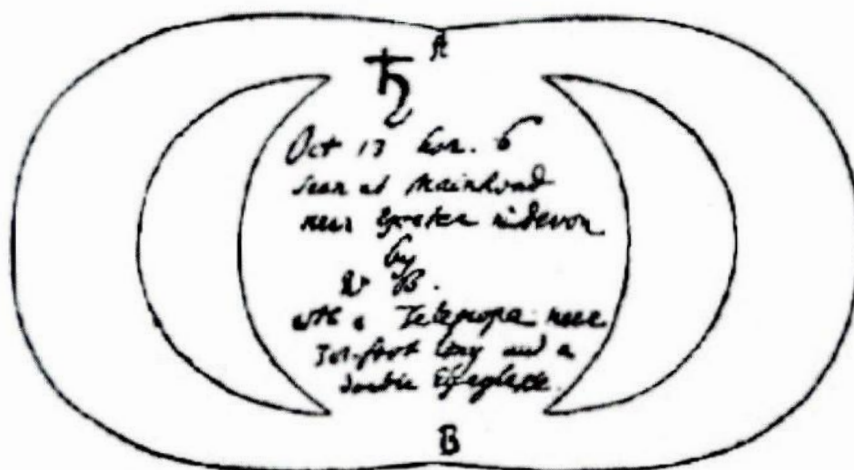


Figura 32 – Ilustração do recorte feito por W. Ball de sua observação realizada em 13 de outubro de 1665, e publicada no artigo escrito por J.C. Adams em 1883 publicado em seus *The scientific papers of John Couch Adams, v. I.*

Ainda de acordo com Adams, o misterioso autor deste artigo deveria ser inexperiente em observações astronômicas, pois de outro modo perceberia que tais cavidades na figura só poderiam ser um erro (tal erro foi de fato descoberto e só apareceu nas primeiras cópias do *Philosophical Transactions*). Sem ter uma real idéia da aparência de Saturno, Adams defende que o autor desconhecido teria acrescentado o trecho final para ser mais fiel à figura que tinha em mãos.

Sobre o acréscimo deste trecho, Adams escreveu no seu trabalho de 1883: “Eu não posso deixar de pensar que esta cláusula tenha sido adicionada ou alterada desta citação de alguma forma para corresponder com a figura dada”.

O artigo de 1666, baseado em uma figura errada de Ball, conclui que “não é um corpo de formato circular, que circunda o disco, mas dois”.

Sem o conhecimento atual de que o recorte original de Ball tinha erros, e de que um pequeno trecho pode ter sido acrescentado à sua descrição original de Saturno, tem-

se a impressão que William Ball defendia a existência de dois anéis ao redor do planeta Saturno. Além disso, como o esboço foi retirado das edições subseqüentes por estar errado, e o texto que falava de dois anéis foi mantido, a confusão foi lançada!

Assim, apesar de não haver menção alguma sobre a existência de uma divisão no anel neste artigo de 1666, alguns cientistas britânicos do século XIX chegaram a se referir a esta divisão como “divisão de Ball”, o que é absolutamente um erro.

Foi o astrônomo italiano Giovanni Domenico Cassini (1625 – 1712) que, em 1675, observou esta divisão pela primeira vez. Neste período, ele já se encontrava na França, pois tinha recebido um convite do Rei Louis XIV, em 1669, para dirigir o Observatório de Paris. Cassini se tornou diretor deste observatório em 1671, e dois anos mais tarde naturalizou-se cidadão francês. Lá ele teve à sua disposição instrumentos feitos pelos grandes fabricantes de telescópios: Campani e Divini. Mas, curiosamente, suas principais descobertas relativas a Saturno (as quais serão citadas aqui) foram feitas apenas com telescópios fabricados por Campani. Foi com um deles que Cassini descobriu dois novos satélites de Saturno. Estas luas foram observadas durante o período em que o anel estava de perfil, que durou do final de 1671 até meados de 1672.⁵⁸ Isto não havia acontecido com o primeiro satélite (Titã), que foi observado por Huygens sete meses antes da aparência “solitária” de Saturno.

Já em agosto de 1676, quase um ano após observar a faixa escura que dividia o anel, e que mais tarde ficaria conhecida como “divisão de Cassini”, o italiano escreveu uma carta na qual descrevia sua nova descoberta:

...a amplitude do anel era dividida em duas partes por uma linha escura, aparentemente elíptica mas na verdade circular, como se nos dois anéis concêntricos, o interno fosse mais brilhante que o externo. Este aspecto eu vi imediatamente após a emersão de Saturno dos raios do Sol e durante todo o ano até sua imersão...

Nesta passagem, Cassini confirmava a diferença de brilho existente entre os anéis, conforme havia sido anunciada há mais de dez anos por Campani. E nesta mesma

⁵⁸ Em 1847, John Herschel batizou estes satélites (assim como fez com Titã) usando a mitologia como fonte de inspiração. Os nomes sugeridos foram: Iapeto (grafado por alguns autores como Jápeto) e Réia, que foram descobertos em 1671 e 1672, respectivamente. Na mitologia, ambos eram irmãos de Cronos (Saturno), ou seja, eram titãs, sendo que Réia (correspondente grega da deusa romana Cibele) foi também esposa de Cronos.

carta, ele enviou também uma ilustração que havia feito, a qual mostrava claramente a divisão no anel (Figura 33). Neste esboço pode-se notar que Cassini não pensava que os anéis tinham o mesmo tamanho. Ele desenhou o interno um pouco maior que o externo, apesar de alguns autores erradamente afirmarem que ele havia declarado que os anéis tinham a mesma dimensão.⁵⁹ Para realizar esta observação Cassini utilizou dois telescópios fabricados por Campani, um deles de 35 pés (cerca de 10,5m) e, posteriormente, outro de 20 pés (cerca de 6m), ambos descritos em sua carta.



Figura 33 – Esboço de G.D. Cassini feito em 1776, no qual ele mostrou pela primeira vez a divisão de Cassini.

Alguns anos depois, em março de 1684, Cassini descobriu mais dois satélites de Saturno. Agora, já somavam quatro novas luas descobertas por Cassini ao redor de Saturno, que teve a idéia de homenagear seu patrão, o rei Louis XIV, chamando-as de *Lodicea sidera* (“estrelas de Louis XIV”), assim como Galileu havia feito com os “planetas medicianos”.⁶⁰

Mas, voltando ao problema da constituição dos anéis, a idéia de que eles poderiam ser discos sólidos concêntricos girando em torno de Saturno, que já não era muito atraente, começou a cair no final do século XVII. Neste período, havia um certo consenso com relação ao fato deles serem compostos de um grande número de pequenos satélites, que era a sugestão proposta por Chapelain e alguns acadêmicos quase quarenta anos antes.

⁵⁹ Estes dois anéis foram batizados com pouca criatividade. O externo e menos brilhante recebeu o nome de anel A, e o interno e mais brilhante, de anel B. Estes nomes vigoram até os dias de hoje, porém algumas dúvidas em relação à sua autoria também permanecem. Alguns autores informam que o primeiro a sugerir esta denominação foi o astrônomo alemão Friedrich G. W. von Struve (1793 – 1864), em 1826. Entretanto, outros autores que estudaram mais especificamente este assunto afirmam que quem batizou os anéis desta forma foi o astrônomo russo Otto W. von Struve (1819 – 1905), filho de Friedrich, em 1851. Entre estes autores estão o professor Albert van Helden e Alexander, em seu livro *The Planet Saturn*. De qualquer maneira, o crédito nunca saiu da família Struve.

⁶⁰ Os nomes atuais foram sugeridos também por John Herschel, em 1847. Ele batizou um destes satélites com o nome da ninfa Dione, e usou o nome da titã Tétis para se referir à outra lua.

Esta idéia começou a tomar corpo na virada do século. Christopher Wren, em 1702 escreveu:

...o anel de Saturno é um número de várias pequenas luas como um enxame de abelhas e as quais por este movimento rápido parecem um corpo único como um bastão aceso girando rapidamente.

Giovanni Cassini também escreveu algo semelhante em 1705. Segundo ele:

Este anel pode ser formado de um enxame de pequenos satélites... a aparência do anel é causada por uma concentração de vários pequenos satélites de diferentes movimentos, que não podem ser vistos separadamente.

Estes satélites, ainda segundo Cassini, apresentavam velocidades diferentes: os mais próximos do planeta tinham velocidade angular maior que os mais distantes. Ele sugeriu também que a densidade destes pequenos satélites no anel interno era maior que no externo, o que acarretava a diferença de brilho entre eles.

Já em 1715, o astrônomo francês Jean Jacques Cassini (1677-1756), filho de Giovanni Cassini e seu sucessor, também se manifestou a respeito da natureza dos anéis de Saturno, entretanto (estranhamente) não citou a opinião de seu pai como referência. De acordo com ele, “o anel de Saturno é formado de infinitos planetas pequenos muito próximos uns dos outros”, algo que só confirmava a tendência geral da época em apoiar esta idéia, mas não acrescentava em nada, visto que tanto Wren quanto seu pai já haviam sugerido isto.

Esta idéia revolucionária também foi sugerida independentemente pelo filósofo natural, matemático e astrônomo inglês Thomas Wright (1711 – 1786), que em seu célebre trabalho intitulado *An Original Theory or New Hypothesis of the Universe* (“Uma teoria original ou nova hipótese do Universo”) de 1750, previu também que os anéis de Saturno consistiam de um grande número de pequenos satélites.

Nesta obra, Wright mencionou a noção de que a Via Láctea poderia ser um disco plano de estrelas, girando ao redor de um centro comum, como os anéis de Saturno. Segundo ele:

...nós podemos imaginar que algumas criações de estrelas podem se mover na direção de esferas perfeitas, todas diferentemente inclinadas, diretas e retrógradas; outras novamente, como fazem os planetas primários, em uma zona geral ou zodíaco, ou mais corretamente na maneira dos anéis de Saturno, e ainda, talvez anel dentro de anel, até uma terceira ou quarta ordem,... nada é mais evidente que se todas as estrelas que nós vemos se movendo em um anel vasto, como esses de Saturno, ao redor do corpo central, ou ponto, os fenômenos gerais de nossas estrelas seriam resolvidos por isto...

É importante ressaltar que além dos cientistas já citados, alguns outros também propuseram esta hipótese, porém todas estas sugestões eram puramente especulativas, ou seja, nenhum deles as provou matematicamente. A solução para este problema ainda levaria cerca de um século para surgir.

Antes disso, um outro problema bastante relevante havia sido solucionado, por volta de 1670, quando começaram a ser construídos os primeiros telescópios refletores. Este tipo de telescópio era bem melhor que os refratores, pois apresentava menos inconvenientes. Uma de suas vantagens era que a luz não passava mais através de lentes, responsáveis por inúmeras imperfeições no resultado final da observação, mas era agora refletida com o uso de espelhos.⁶¹

Mas somente quando a arte de construir bons telescópios refletores estivesse disseminada, em meados do século XVIII, novos avanços e descobertas poderiam voltar a ocorrer, pois a utilidade dos refratores já havia praticamente alcançado seu limite.

⁶¹ O telescópio refletor foi proposto definitivamente pelo matemático e astrônomo escocês James Gregory (1638 – 1675) em 1663, após algumas especulações de outros cientistas que o antecederam. Mas quem primeiro construiu um instrumento destes foi Issac Newton, em 1668. Contudo, este equipamento precisava ser aperfeiçoado, pois ainda não apresentava um resultado favorável. O primeiro telescópio refletor realmente satisfatório foi construído em 1721, pelo matemático e inventor inglês John Hadley (1682 – 1744).

8. HERSCHEL E LAPLACE: O PRÁTICO E O TEÓRICO

Desde o começo do século XVIII, quando começou a tomar corpo a sugestão de que os anéis de Saturno eram formados por vários pequenos satélites, muitas teorias a respeito de sua composição e de sua origem começaram a surgir. Levando-se em consideração que tal estrutura era única em todo o Sistema Solar até aquele momento, não surpreende que os anéis de Saturno tenham sido assunto de várias especulações e hipóteses, sendo algumas destas realmente fantásticas.

Uma delas foi proposta pelo astrônomo e matemático francês Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698 – 1759), em sua obra intitulada *Discours sur les différentes figures des astres* (“Discurso sobre as diferentes formas dos astros”), de 1732. De acordo com ele, quando um cometa se aproximava de seu periélio emergiam de seu corpo “imensas torrentes de vapor” devido ao calor intenso do Sol. Estas torrentes formavam as caudas dos cometas. Maupertuis escreveu ainda que:

Se um cometa neste estado passar por algum planeta poderoso, a força de gravidade na direção do planeta poderá desviar esta torrente, & obrigá-la a circular ao redor dele, segundo uma elipse, ou um círculo. E o cometa que sempre fornece matéria nova... formará um curso contínuo de matéria, ou uma espécie de anel ao redor do planeta.

Assim, Maupertuis considerou que a cauda de um cometa ao passar perto de um planeta poderia ser atraída gravitacionalmente pela sua massa,⁶² e a partir deste momento permanecer girando em torno dele, formando um ou vários anéis. Ele usou, obviamente, o exemplo de Saturno como prova concreta de sua conjectura. Maupertuis também se referiu ao planeta para dizer que:

⁶² Em 1687, o mundo foi brindado com a importantíssima Lei da Gravitação Universal de Isaac Newton.

O número de satélites que tem Saturno, & o tamanho de seu anel, podem fazer crer que ele os adquiriu às custas de vários cometas. De fato, é necessário que este anel, todo fino como nos parece, seja formado de uma quantidade prodigiosa de matéria para poder lançar sobre o disco do planeta a sombra que os astrônomos lá observam...

Segundo Maupertuis, os satélites eram cometas também capturados pela força de gravidade dos planetas. Além disso, ele afirmou ainda que a força centrífuga aplainava o anel e que, dependendo desta força, a espessura do anel seria muito pequena em relação à sua largura.⁶³

Outro que também lançou uma hipótese muito interessante a respeito dos anéis de Saturno foi o grande filósofo alemão Immanuel Kant (1724 – 1804), que em 1755 escreveu sua obra intitulada *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels* (“História natural universal e teoria dos céus”), onde lançou suas idéias cosmogônicas (com teor teológico), as quais eram principalmente quantitativas.⁶⁴

Kant sugeriu uma hipótese na qual os anéis foram formados por vapores que teriam escapado de Saturno depois de formado (mas ainda se condensando), e que estes vapores se transformariam em “partículas” de tamanhos não especificados ao atingirem uma determinada altura. De acordo com ele, estas partículas girariam em torno do planeta com velocidades diferentes (respeitando as leis de Kepler), e se concentrariam próximas do equador de Saturno. Ainda segundo Kant, as colisões que ocorriam entre estas partículas desestabilizariam aquela formação. Para evitar esta instabilidade, ele argumentou que as partículas deveriam ser segregadas em faixas circulares concêntricas que não interagem.

Mas, quando este trabalho estava pronto para ser lançado, o editor faliu e as cópias impressas tiveram que ser recolhidas, fazendo com que a teoria de Kant permanecesse desconhecida por vários anos.⁶⁵

⁶³ É interessante ressaltar que esta teoria sugerida por Maupertuis quase não foi mencionada pelos autores mais especializados no assunto, o que de certa forma surpreende, não muito pelo que ela acrescenta no estudo dos anéis de Saturno (é “apenas” mais um fato histórico), mas pela importância da obra em que ela se encontra.

⁶⁴ Neste trabalho, Kant desenvolveu a idéia de Thomas Wright, e sugeriu que a Via Láctea fosse apenas uma nebulosa plana entre várias outras. Segundo ele, a matéria teria sido distribuída uniformemente (por Deus) no caos primitivo, se concentrando em nebulosas com rotação sob forças de atração e repulsão, e como resultado de sua rotação, se achatou em discos que se separaram então em galáxias, estrelas e planetas.

⁶⁵ Quem publicou uma hipótese bastante similar a de Kant foi o astrônomo e matemático francês Jean Henri Lambert (1728 – 1777) em sua obra intitulada *Kosmologische Briefe* (“Cartas Cosmológicas”) de

Diferente destas teorias era a “hipótese nebular” proposta, independentemente, pelo célebre matemático e astrônomo francês Pierre Simon, Marquês de Laplace (1749 – 1827) em 1796, e que, futuramente, se tornaria famosa. Esta hipótese de Laplace não tinha nada em comum com a teoria de Kant, exceto pelo mesmo ponto de partida: a nebulosa de gás na qual o Sol estava situado no centro.⁶⁶

Esta hipótese de Laplace era bem mais ampla, não só no que se refere aos anéis de Saturno, mas também em relação à origem dos mundos, apesar de se limitar apenas ao Sistema Solar, enquanto as outras tratavam de estruturas maiores como conjuntos de nebulosas (galáxias). Ela foi lançada em sua obra intitulada *Exposition du système du monde* (“Exposição do sistema do mundo”).

Laplace havia notado que as distâncias entre Sol e os planetas eram relativamente pequenas se comparadas com as distâncias entre estes corpos e as estrelas, e, além disso, havia encontrado também algumas regularidades no Sistema Solar, o que o levou a construir sua teoria. De acordo com ele, o Sol e os planetas teriam sido formados a partir de uma massa nebulosa primordial em rotação, de onde se desprenderam vários anéis de vapor que, devido às contrações gravitacionais, deram origem aos planetas que compõem o Sistema Solar.

O mesmo processo ocorreria numa escala menor, no qual se formariam os satélites. Laplace incorporou os anéis de Saturno à sua hipótese, sendo este o único caso de anéis de material nebular se solidificando ao redor de um planeta. Segundo ele:

Se todas as partículas de um anel de vapores continuam se condensando sem se separar, elas vão constituir um anel sólido ou líquido. Mas a regularidade que esta formação requer em todas as partes do anel, e em seu resfriamento, deveria fazer este fenômeno muito raro. Assim o Sistema Solar apresenta apenas um exemplo disto; o dos anéis de Saturno.

Antes desta hipótese surgir, porém, um dos maiores astrônomos do século XVIII já dava sua contribuição no que se refere ao planeta Saturno. Este astrônomo inglês de origem alemã chamava-se William (originariamente Friedrich Wilhelm) Herschel (1738

1761. O que mostra que os anéis haviam se tornado um grande artifício usado nos modelos cosmológicos e cosmogônicos, em meados do século XVIII (seguramente devido aos vórtices de Descartes).

⁶⁶ Esta hipótese nebular de Laplace, que se propunha a explicar a origem do Sistema Solar, mostrou-se teoricamente impossível. Porém, após ser aperfeiçoada, passou a constituir a base das teorias modernas sobre este assunto.

– 1822), e começou sua carreira como músico. A música o levou à matemática, a matemática o conduziu à ótica. E, por volta de 1766, ele já dominava a arte de polir espelhos. Contudo, somente a partir de 1773-74, Herschel passou a dedicar-se à astronomia prática.

Coincidentemente, neste mesmo período os anéis de Saturno estavam de perfil, ou seja, estavam invisíveis. Isto fez com que Herschel declarasse que:

O planeta Saturno é, talvez, um dos objetos mais atrativos que a astronomia oferece para nossa visão. Como tal chamou minha atenção logo no começo do ano de 1774; quando, em 17 de março, com um refletor de 5,5 pés [pouco mais de 1,5m], eu vi seu anel reduzido a uma linha muito minúscula... Em 3 de abril, no mesmo ano, eu encontrei o planeta como estando despido de seu ornamento nobre, e vestido na modesta simplicidade de Marte...

Nos primeiros anos em que observou Saturno, Herschel tinha a idéia de que ele era cercado por um único anel sólido. Uma das razões para que fizesse tal consideração era a sombra lançada sobre Saturno que, segundo ele, só ocorreria se o anel fosse substancial como o planeta.⁶⁷ Além disso, Herschel achava que as irregularidades nos movimentos dos satélites eram provocadas pela atração gravitacional do anel, mas admitiu que parte destas irregularidades também ocorriam por causa da gravidade devido ao bojo equatorial.

Com relação à divisão de Cassini, Herschel comentou que:

...o disco escuro, ou cinturão, sobre o anel de Saturno não está no meio de sua amplitude; nem o anel é subdividido em muitas linhas, como tem sido representado em diversos tratados de astronomia; mas... há uma única linha, cinturão, ou zona, escura, consideravelmente larga, sobre o anel, que eu sempre encontro permanentemente no lugar onde minha figura a representa. Eu a defino, porém, somente como uma visão do plano norte do anel, como a situação do planeta não tem me fornecido qualquer outro até agora...

⁶⁷ Curiosamente, nem os anéis, nem o planeta, apresentam este perfil substancial. Em 1882, na segunda edição de seu *Saturn and its System* ("Saturno e seu sistema"), o astrônomo inglês Richard A. Proctor (1837 – 1888) argumentou que os planetas gigantes (entre eles Saturno) tinham baixa densidade média, e eram globos quentes e gasosos. Na década de 1920, cientistas concluíram que a baixa densidade destes planetas indicava uma abundância de hidrogênio na constituição deles. Saturno, particularmente, é formado de cerca de 93% de hidrogênio e 5% de hélio. Outros componentes encontrados em menor quantidade em sua atmosfera são o gás metano, vapor d'água, amônia, entre outros.

Herschel acreditava que aquela divisão fosse “alguma construção permanente da superfície do anel”, e demonstrou o desejo de observar a superfície sul do anel quando ela estivesse visível, depois de 1789, para confirmar sua sugestão. Ele disse ainda que só aceitaria a divisão no anel se pudesse observar uma estrela através dela, algo que não conseguiria realizar, apesar de mais tarde aceitar a divisão de Cassini como uma abertura real.

Em 1780, o anel fosco (anel de crepe) foi observado de novo. Desta vez por Herschel, que também o incluiu numa ilustração (Figura 34), como Campani e Hooke, mas assim como eles, não teve a perspicácia de desvendar aquilo que ele mesmo definiu como sendo uma “listra negra”. Futuramente, ele questionaria sua própria observação por acreditar que não haveria mais nenhuma divisão no anel, além da divisão de Cassini.

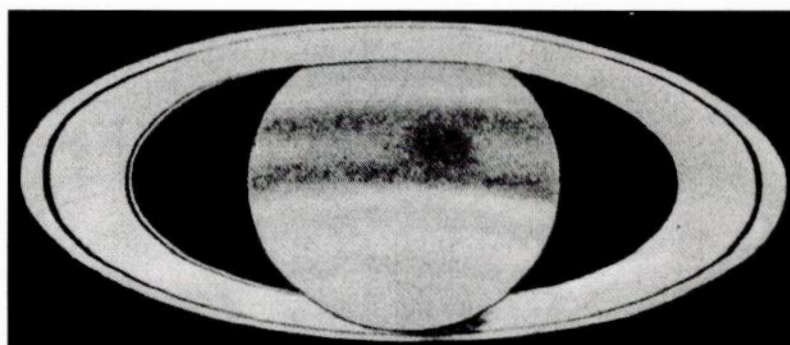


Figura 34 – Ilustração de 19 de junho de 1780, que mostra uma marcação escura registrada por W. Herschel na extremidade interna do anel interno.

Já em 1781, Herschel entraria definitivamente para a elite dos astrônomos (não só daquela época, mas de todos os tempos) ao descobrir quase que acidentalmente o planeta Urano.

Um ano depois, Laplace começou a trabalhar em seu artigo *Théorie des attractions des sphéroïdes et de la figure des planètes* (“Teoria das atrações dos esferóides e da forma dos planetas”), que só seria publicado em 1785. Neste trabalho, pela primeira vez, se fez uso dos métodos do cálculo para tentar resolver o problema da estrutura dos anéis de Saturno. Todavia, nesta sua primeira abordagem, Laplace não se dedicou unicamente a este problema. Ao contrário, ele se dedicou mais ao problema dos corpos esféricos do Sistema Solar, tratando muito pouco dos anéis de Saturno.

Somente em 1787, Laplace estudou especificamente este assunto. O resultado deste estudo foi publicado em 1789, na sua *Mémoire sur la théorie de l'anneau de Saturne* ("Memória sobre a teoria do anel de Saturno"). Ele começou esta obra discutindo o caso de um anel sólido e estacionário, e mostrou que, neste caso, toda a estrutura desmoronaria sobre o equador de Saturno. Então, Laplace provou que o anel deveria girar em torno do globo central, pois assim, a enorme força atrativa devido à massa do planeta e a força quase insignificante provocada pelo restante do anel, seriam contrabalançadas pela força centrífuga.

Em seguida, Laplace investigou a estabilidade dos anéis, e estabeleceu as condições para que ela existisse. Ele argumentou que o anel não seria uma massa contínua, mas sim um sistema de vários anéis concêntricos, e que só a teoria gravitacional (sem necessidade de observações) seria suficiente para provar isto.

Apesar desta afirmação, o próprio Laplace citou no começo deste seu trabalho a observação realizada pelo matemático e ótico escocês James Short (1710 – 1768), em meados daquele século, na qual ele viu várias divisões concêntricas no anel externo de Saturno (anel A).⁶⁸ Mais à frente, neste mesmo artigo, Laplace comentou que quando novas observações fossem feitas com telescópios melhores, poderiam ser vistas também divisões no anel interno (anel B).

De acordo com Laplace, este sistema de anéis concêntricos ocorreria porque no caso de um anel girando com uma velocidade angular constante, as forças gravitacional e centrífuga estariam em equilíbrio no seu centro, mas não em suas extremidades. Logo, cada extremidade exerceria uma força tal (não muito significativa, mas suficiente) sobre a outra que acabaria por fragmentar este anel. Somente vários anéis finos poderiam resistir a estas pequenas tensões. Assim, segundo ele, estes anéis teriam larguras consideravelmente pequenas se comparadas às suas distâncias ao centro de Saturno.

Outro assunto abordado por Laplace foi referente à necessidade destes anéis serem irregulares. Contudo, ele não submeteu esta questão à mesma investigação matemática que aplicou às outras (ele só faria isto mais adiante, como será visto ainda neste capítulo). Neste caso, Laplace sugeriu que:

⁶⁸ Short era um exímio construtor de telescópios, e utilizou-se dos melhores equipamentos para fazer suas observações. No próximo capítulo, esta observação de Short será novamente citada, pois ela teve um papel importante na história das observações de uma nova divisão nos anéis de Saturno.

Estas desigualdades são indicadas pelos aparecimentos e desaparecimentos do anel de Saturno, nos quais os dois braços do anel apresentaram fenômenos diferentes. Eu acrescento que estas desigualdades são necessárias para manter o anel em equilíbrio em torno de Saturno, porque, se ele fosse perfeitamente semelhante em todas as suas partes, seu equilíbrio seria perturbado pela força mais fraca, como a atração de um satélite, e o anel acabaria se precipitando sobre a superfície de Saturno.

Ou seja, os anéis só poderiam ser uniformes se o planeta também fosse. Ainda assim, se eles sofressem qualquer perturbação (e existem vários astros próximos a este sistema que poderiam facilmente perturbá-los), seu equilíbrio não poderia mais ser restaurado, causando, desta forma, a destruição dos anéis.

Estas irregularidades propostas por Laplace poderiam ser causadas pelas variações na densidade ou na espessura dos anéis. Ele afirmou ainda que:

Os diferentes anéis que cercam o globo de Saturno são, portanto, sólidos irregulares de uma largura desigual nos diversos pontos de sua circunferência, de forma que seus centros de gravidade não coincidem com seus centros de figura. Estes centros de gravidade podem ser considerados como vários satélites que se movem ao redor do centro de Saturno a distâncias dependentes da desigualdade das partes de cada anel e com velocidades de rotação iguais a estas de seus respectivos anéis.

Entretanto, isto gerava um novo problema, pois estas diferentes perturbações às quais os anéis estariam sujeitos, fariam com que o plano de cada anel oscilasse lentamente em torno de Saturno (uma espécie de precessão). Como estes movimentos seriam diferentes para cada um deles, a configuração que este sistema apresentava não estava de acordo com aquela previsão. Laplace, então, considerou que a atração causada pelo bojo equatorial do planeta seria suficiente para superar todas estas perturbações, e manter os anéis girando em um único plano quase coincidente com o plano do equador de Saturno.

No mesmo ano em que este trabalho de Laplace havia sido publicado (1789), os anéis de Saturno apresentaram sua aparência de perfil, tornando-se invisíveis mais uma vez. Esta fase, como já foi possível notar, era sempre muito frutífera para ocorrência de avanços referentes ao planeta e seus anéis, e desta vez não foi diferente.

Quem mais se destacou foi William Herschel, que abordou vários temas, sendo pioneiro em alguns deles. Ele aproveitou este período para estudar a atmosfera do planeta, a rotação do globo,⁶⁹ e também seu achatamento polar. Outros assuntos abordados por Herschel foram relativos aos anéis, como sua espessura e seu período de rotação, além de descobrir também mais dois novos satélites orbitando o planeta.⁷⁰

Sobre a espessura do anel, Herschel, que já o considerava extremamente fino, teve a oportunidade de confirmar isto quando os anéis ficaram invisíveis. Para isso ele usou os satélites conhecidos até aquele momento, fazendo estimativas de seus diâmetros e assim, quando estes astros passavam na frente ou atrás da extremidade do anel, ele podia estimar também a sua espessura. Todavia, ele não obteve um bom resultado numérico (apesar de ter confirmado que o anel era fino), visto que suas estimativas para os diâmetros dos satélites não haviam sido muito boas.

O mais interessante foi que Herschel não atribuiu a esta pouca espessura o motivo da invisibilidade do anel, pois, segundo ele, as suas extremidades eram arredondadas, o que faria com que uma parte da luz solar incidente fosse refletida em outras direções que não a da Terra. Esta idéia não foi levada adiante por nenhum cientista, e Herschel acabou se isolando neste assunto.

Outro ponto importante tocado por Herschel foi no que se referiu à rotação do anel. Um pouco antes deles se apresentarem de perfil, Herschel notou alguns pontos luminosos em sua superfície. Ele supôs, primeiramente, que fossem devido à superfície irregular e áspera do anel. Esta idéia surgiu, de acordo com ele:

...de ver partes luminosas em sua extensão, que deveriam estar projetando pontos, como as montanhas da Lua; ou de ver um braço mais brilhante e maior que o outro; ou até mesmo de ver um braço quando o outro estava invisível.⁷¹

⁶⁹ Quem abordou esta questão anteriormente foi o famoso astrônomo inglês Edmond Halley (1656 – 1742) que, no final do século XVII, concluiu que Saturno girava no plano do anéis. Halley, porém, não se aprofundou neste assunto, deixando esta lacuna aberta até o trabalho de Herschel. Este último forneceu ao final de seus estudos sobre o planeta o período de 10h16min0,4s (a precisão induzida por este valor é apenas aparente, pois Herschel chegou a ele após fazer uma média de vários períodos de rotação medidos por ele em todos aqueles anos). Este é um valor bastante próximo do atual (10h14min13s), contudo foi obtido através das observações das nuvens de Saturno. Observando-se seu campo magnético, concluiu-se que sua rotação leva na realidade 10h39min26s. Esta rotação rápida faz de Saturno o planeta mais achatado do Sistema Solar.

⁷⁰ Estes satélites, que foram descobertos em 1789, foram batizados com nomes de dois gigantes filhos de titãs e inimigos de Zeus (Júpiter): Encélado e Mimas.

⁷¹ Para esta afirmação Herschel se apoiou em duas observações anteriores. Uma de Jacques Maraldi, sobrinho de Cassini, que viu um “braço” mais brilhante e maior que o outro durante o período que precedia a invisibilidade dos anéis de Saturno, em 1714. E outra de Joseph Varelaz que observou um “braço” enquanto o outro estava invisível, quando o mesmo evento ocorreu, já em 1773. O fato de

Quando o anel ficou totalmente invisível, porém, Herschel mudou sua opinião, pois “um destes supostos pontos luminosos foi bondoso o suficiente ao se aventurar na extremidade do anel, e apareceu na forma de um satélite”. Após se certificar que estes pontos realmente não eram satélites, ele passou a usá-los, a fim de obter o período de rotação do anel. Comparando diversas observações, Herschel encontrou o valor de 10h32min15,4s para o melhor ponto observado (mais brilhante).⁷²

Em 1791, Herschel teve a oportunidade de observar a superfície sul do anel, conforme ele mesmo havia desejado anteriormente, para confirmar de uma vez por todas a existência (ou não) da divisão de Cassini. Em suas observações, ele notou que aquela marcação tinha a mesma amplitude, a mesma distância das extremidades e, até mesmo, a mesma posição que a marcação existente na superfície norte do anel. Herschel declarou ainda que quase sempre ela parecia ser tão escura quanto o céu ao fundo. Assim, mesmo sem ter feito o teste que queria (observar uma estrela através da divisão), ele passou a aceitar aquela marcação como uma verdadeira divisão.⁷³ Em suas próprias palavras:

...eu me considero autorizado agora a dizer, que o planeta Saturno tem dois anéis concêntricos, de dimensões e amplitudes desiguais, situados em um plano, que provavelmente não é muito inclinado em relação ao equador do planeta.

Já em 1793, Herschel realizou uma nova observação com um telescópio refletor de sete pés (pouco mais de 2m) com um aumento de 287 vezes. Nesta observação mais uma vez ele registrou o anel fosco, sendo que desta vez ainda o descreveu, mas sem ressaltar que se tratava de um anel obscuro ao redor de Saturno. Herschel escreveu que “próximo ao anel de Saturno, onde ele passa pelo corpo do planeta, está a sombra do anel; muito estreita, e escura”. Na ilustração feita por ele, pode ser visto também o que ele chamou de “cinturão quádruplo”, que era formado por três cinturões escuros, e dois claros entre eles. Estes cinturões também ajudavam a confundir quem observasse o anel

Herschel usar estes argumentos mostra que ele também não acreditava na possibilidade do anel ter uma espessura uniforme. É importante lembrar que desde as observações de Pierre Gassendi, já eram notadas diferenças entre as duas “alças” de Saturno.

⁷² O período de rotação da extremidade interna do anel A (mais externo) é de 11h55min48s. Já sua extremidade externa leva 14h14min24s para completar uma volta em torno de seu eixo.

⁷³ Somente em 9 de fevereiro de 1917, Maurice Ainslie e John Knight, independentemente, realizaram esta prova final observando a estrela B.D. +21° 1714 através da divisão de Cassini.

fosco naquela condição, pois ele poderia se passar facilmente por um destes riscos atmosféricos (Figura 35).

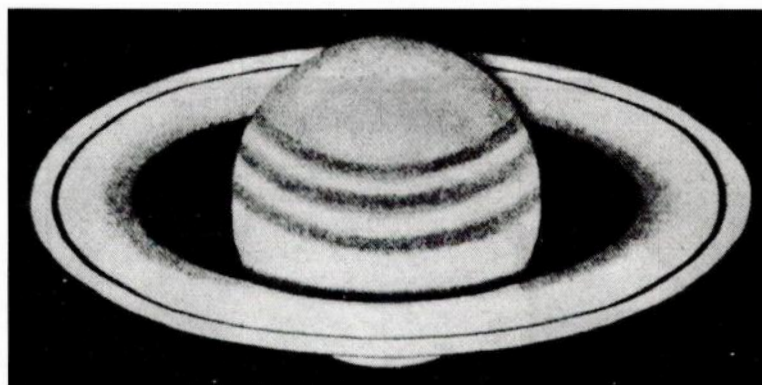


Figura 35 – Ilustração de 11 de novembro de 1793, que mostra, além do “cinturão quártuplo”, o anel escuro, novamente registrado por Herschel.

Embora tenha observado (e registrado) o anel fosco pelo menos duas vezes, Herschel nunca aceitou a possibilidade de existência de outros anéis, ou outras divisões além da de Cassini. Ele tomou conhecimento de algumas observações e teorias, inclusive a de Laplace, mas morreu sem admitir que isto pudesse ocorrer. Mesmo não concordando com Laplace neste assunto, Herschel soube reconhecer o mérito das contribuições dele, chamando de “excelentes teorias” o conteúdo de suas memórias.

E apesar de Herschel ter cometido alguns (poucos) erros e deslizes referentes a Saturno, sua contribuição foi muito significativa para que futuros cientistas evoluíssem ainda mais do ponto onde parou. Ele mesmo era fascinado com tudo o que havia vislumbrado naquele planeta. Em 1805, Herschel escreveu sobre ele: “Não existe talvez outro objeto nos céus que nos apresente com tal variedade de fenômenos extraordinários como o planeta Saturno”.

Laplace também tomou conhecimento dos trabalhos de Herschel a respeito de Saturno, e mencionou vários dos seus resultados nas obras subseqüentes que desenvolveu, principalmente em sua *Exposition du système du monde* de 1796 (obra já citada na qual sua hipótese nebular foi publicada). Ele dedicou alguns capítulos desta obra a Saturno e seus anéis, fazendo um grande resumo de tudo que se conhecia até então sobre eles.

Outro trabalho no qual Laplace abordou novamente este assunto, foi seu importantíssimo *Mécanique Celeste* (“Mecânica celeste”), que foi publicado ao longo de 26 anos, entre 1799 e 1825. No tomo II, publicado em 1799, alguns cálculos já

realizados anteriormente foram repetidos e, finalmente, um tratamento matemático foi dado à questão dos anéis estarem localizados próximos ao plano do equador de Saturno. Assim, Laplace provou que mesmo sofrendo influências de outros astros, a “ação de Saturno” manteria os diferentes anéis quase no mesmo plano de seu equador. Nem mesmo o Sol ou o “quinto satélite”⁷⁴ poderiam, de maneira perceptível, tirá-los desta posição, pois a força exercida por eles não era suficiente para que isto ocorresse. Ele escreveu ainda que:

Um anel pode ser considerado como uma reunião de satélites, concebendo-se que a ação do equador de Saturno, que mantém no seu plano estes seus diversos anéis, deve, pela mesma razão, manter neste mesmo plano as órbitas dos satélites situados primitivamente neste plano.

Neste trecho, Laplace parece estar próximo da real solução do problema, mas esta proximidade é apenas aparente, pois ele não se referia a composição dos anéis, e sim ao fato de a força gravitacional de Saturno fazer com que os corpos que estivessem ao seu redor tendessem a se localizar no plano de seu equador, aproximadamente.

Já no tomo V desta obra, publicado em 1825, foi feito um apanhado histórico bastante interessante, no qual Laplace ressaltou o trabalho dos principais cientistas que estudaram os anéis de Saturno e suas descobertas. Após citar Galileu, Huygens, Cassini e Short, ele citou Herschel, e aproveitou para discutir alguns de seus resultados. Herschel havia obtido os períodos de duração da rotação do anel (0,438 dia), e do globo (0,427 dia) a partir de suas observações. Laplace, porém, tinha previsto em sua hipótese nebular que estes valores deveriam ser maiores.

Nesta teoria, Laplace argumentou que a nebulosa primordial ia, gradualmente, se resfriando e contraindo. Conforme esta contração ocorria, sua velocidade de rotação aumentava até que a força centrífuga no equador se tornava maior que a força gravitacional, fazendo com que parte da matéria fosse deixada para trás na forma de um anel. Este processo prosseguia, dando origem a um sistema de anéis concêntricos. Segundo ele, quando este raciocínio era aplicado numa escala menor (o caso dos planetas), explicava a origem dos satélites e dos anéis de Saturno.

⁷⁴ Este satélite a que Laplace se referiu era Iapeto, o único satélite a apresentar, até então, uma órbita consideravelmente inclinada em relação ao equador de Saturno (cerca de 15°). Os demais satélites conhecidos naquela época se encontravam aproximadamente no mesmo plano do equador do planeta.

Além disso, de acordo com esta hipótese, a duração da rotação de um planeta deveria ser menor do que a revolução dos corpos mais próximos que giravam ao redor dele (o que acontecia com o Sol e os planetas, que são os produtos das “zonas” abandonadas sucessivamente pela atmosfera solar). No caso do anel interior, Laplace afirmou que, pelo fato de estar próximo a Saturno, seu período de rotação não deve ultrapassar muito o do planeta. E ainda, considerando que a diferença observada entre estes períodos era pequena,⁷⁵ ele escreveu que seria “difícil não admitir que a atmosfera de Saturno se expande até seus anéis e que eles foram formados pela condensação de suas camadas”.

Como se pode notar, esta foi uma época agraciada com a participação de dois grandes cientistas estudando um mesmo assunto: os anéis de Saturno. O mais interessante é que seus trabalhos se completavam, pois Laplace era um teórico primoroso e Herschel um astrônomo prático como poucos que já existiram. Assim, por mais que algumas divergências entre seus trabalhos tenham surgido, nada foi mais importante do que a contribuição que ambos deram ao solucionarem alguns dos principais problemas de Saturno naquele período.

⁷⁵ Em 1791, quando Herschel aceitou a existência da divisão de Cassini, ele provou também que o anel interior tinha um período de rotação de aproximadamente 10,5 horas.

9. O SÉCULO DAS GRANDES DESCOBERTAS

A quantidade de descobertas referentes aos anéis de Saturno ocorridas no século XIX foi surpreendente. Novas marcações em suas superfícies (no final das contas, apenas uma delas seria considerada uma divisão), o anel fosco (que recebeu o nome de “anel de crepe”, e já havia sido observado anteriormente — como foi visto nos capítulos 7 e 8), além de novas teorias e soluções, que ajudaram a entender melhor aquele sistema antes tão misterioso. Desde a primeira observação feita por Galileu, as únicas descobertas reais haviam sido a do anel em si e sua divisão mais notável, a divisão de Cassini. E no que diz respeito às teorias, a grande maioria não passava de especulação, sem nenhuma base matemática.

Durante a primeira metade do século XIX, a idéia de vários pequenos satélites formando os anéis de Saturno foi posta de lado pela maior parte dos cientistas, e a teoria de Laplace, juntamente com as observações de Herschel, ditaram o novo cenário científico daquele período. O prestígio destes dois magníficos estudiosos renovou a popularidade dos anéis sólidos.

Como foi possível notar no caso das convicções cartesianas de Huygens (e na ciência de uma forma geral), a teoria influencia as observações. Não foi diferente com a teoria de Laplace, que inspirou vários observadores a informar tênues subdivisões adicionais nos anéis de Saturno. Ainda assim, alguns poucos teóricos bastante céticos mantinham a idéia de que os anéis eram um corpo sólido uniforme (sem divisões) ou então eram compostos de pequenas partículas separadas.

Dos que defenderam a antiga idéia de que o anel seria uma estrutura sólida e simples estavam o astrônomo alemão Johann H. Schröter (1745 – 1816) e seu assistente, e também astrônomo alemão, Karl L. Harding (1765 – 1834). Schröter tinha um observatório particular em Lilienthal, na Alemanha, onde mantinha um telescópio refletor que havia pertencido a Herschel. Em 1808, eles observaram uma brilhante mancha estacionária em uma das “alças” de Saturno, o que os levou a afirmar que o

planeta seria cercado por um único anel sólido, e que este não girava ao redor de Saturno.

Outro que também foi contra a idéia de vários anéis foi o matemático e astrônomo italiano Giovanni Plana (1781 – 1864) que, em 1818, criticou os argumentos de Laplace, mas não sugeriu uma teoria alternativa. De acordo com ele, mais do que um anel não era essencial, e os dados que Laplace havia assumido não eram verdadeiros.

Curiosamente, um dos defensores da idéia de vários pequenos satélites, que já havia caído em desuso durante aquela época, foi um outro assistente de Schröter, o também astrônomo alemão Friedrich W. Bessel (1784 – 1846). Em 1836, ele deu a seguinte opinião a respeito da composição dos anéis:

Quanto a esta que é a natureza do anel de Saturno, nos parece, por analogia provável, que este anel consiste em uma acumulação de satélites, preenchendo completamente sua órbita.

Porém, a grande maioria dos observadores daquele período, contrariou a idéia de Herschel de que não existiriam novas divisões nos anéis, e seguiu a teoria de Laplace a procura de novas marcações nos anéis. E como já foi possível perceber, a história das observações das divisões nos anéis de Saturno é muito confusa.

O capitão inglês Henry Kater (1777 – 1835), então vice-presidente e tesoureiro da *Royal Society*, foi um dos primeiros a publicar um artigo divulgando a observação de novas marcações, em 1830. Ele declarou nesta publicação que, em 17 de dezembro de 1825, utilizando-se de dois bons telescópios refletores com aberturas de 6,25 e 6,75 polegadas (aproximadamente 16 e 17cm), constatou a presença de várias marcações no anel externo. Segundo a descrição de Kater:

A noite [estava] extremamente boa. Com o Dollond [o telescópio de 6,75 polegadas] eu percebi o anel exterior de Saturno mais escuro que o interno, e a divisão do anel toda redonda, com perfeita distinção; mas com o Watson [o telescópio de 6,25 polegadas] eu imaginei que eu vi *o anel exterior separado por numerosas divisões escuras extremamente próximas, uma mais forte que o resto dividindo o anel quase igualmente.*

Em seguida, Kater relatou outras noites de observação feitas em 1826 e 1828. Contudo, apesar de estar quase certo de ter visto várias marcações, ele não teve certeza disto, o que o fez declarar-se quase convencido de que elas não eram permanentes.

Felizmente, Kater registrou sua proveitosa noite de 17 de dezembro fazendo uma ilustração, na qual mostrava três marcações em ambas as “alças” do anel externo, sendo a central mais escura e mais larga que as outras duas (Figura 36).

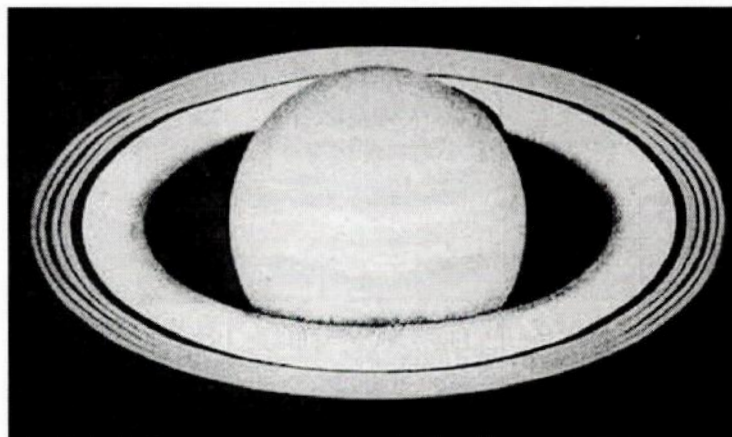


Figura 36 – Ilustração feita por H. Kater em 17 de dezembro de 1825.

Nesta mesma noite, Kater havia convidado duas pessoas para examinar os anéis de Saturno e desenhar aquilo que viam. Uma delas mostrou várias marcações no anel externo,⁷⁶ enquanto a outra, que não era acostumada com observações telescópicas, viu apenas uma marcação no meio do anel externo.

Kater neste artigo também faz referência a dois fatos importantes no que diz respeito a este assunto. Um deles já foi abordado no capítulo anterior, que foi a observação realizada por James Short em meados do século XVIII. Kater não encontrou a obra original na qual este acontecimento foi reportado, e por isso recorreu ao tratado do astrônomo francês Joseph J. F. de Lalande (1732 – 1807) intitulado *Traité de l'astronomie* (“Tratado da astronomia”), no qual relatava a observação de Short e apresentava a ilustração feita por ele (Figura 37). Kater citou o seguinte trecho da obra de Lalande:

“Short me *falou* que ele observou ainda mais fenômenos singulares com seu grande telescópio de 12 pés. A amplitude das alças, ou extremidades do anel,

era, de acordo com ele, dividida em duas partes, — uma porção interna sem qualquer quebra na iluminação, e uma externa, dividida por várias linhas concêntricas com a circunferência; que levam a acreditar *que existem vários anéis no mesmo plano.*”

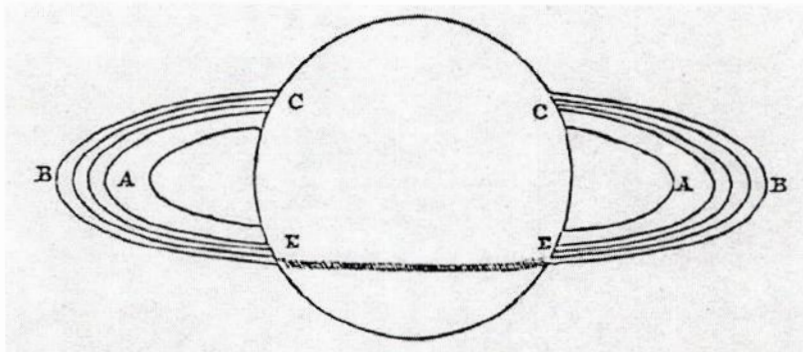


Figura 37 – Ilustração feita por J. Short que mostra várias divisões no anel externo. A marcação externa à A seria a divisão de Cassini, e a mais externa (mais próxima de B desconsiderando, claro, a extremidade do anel) seria, possivelmente, o que mais tarde foi chamado de “divisão de Encke”.

Além disso, Kater informou também neste artigo que em dezembro de 1813, o astrônomo e matemático belga Lambert A. J. Quetelet (1796 – 1874) observou o anel externo dividido, em Paris, usando um telescópio refrator de 10 polegadas (cerca de 25,5cm) de abertura.⁷⁶ De acordo com Kater, Quetelet teria comunicado Laplace sobre esta sua observação no dia seguinte, e este teria dito que “estas, ou até mesmo mais divisões, estão em harmonia com o sistema do mundo”.

Por outro lado, como o astrônomo norte-americano George P. Bond registrou em 1851:

...alguns dos melhores telescópios do mundo, nas mãos de [Friedrich] Struve, Bessel, e Sir John Herschel, e outros, não haviam dado nenhuma indicação de mais do que uma divisão, quando o planeta tinha aparecido na mais perfeita definição.

⁷⁶ Segundo alguns autores, esta pessoa observou seis marcações, mas o próprio Kater não relatou isto em seu artigo de 14 de maio de 1830.

⁷⁷ Esta data possivelmente não está correta, mas foi mantida para constar a informação original do artigo de Kater. Num outro artigo, escrito por George P. Bond em 1851, a data mencionada desta observação do professor Quetelet foi de dezembro de 1823. Como a referência original do belga não foi sequer citada nestes dois artigos, não foi possível encontrá-la, a fim de esclarecer esta questão. Porém, a indicação de que o ano de 1823 seja o mais correto vem do fato de que aproximadamente 14 anos mais tarde, em 1837, o astrônomo alemão Johann F. Encke teria observado provavelmente a mesma característica que Quetelet viu nos anéis de Saturno, e como se sabe, este é o período em que as fases dos anéis se repetem.

Estas observações realizadas pelo astrônomo inglês John Herschel e pelo astrônomo alemão Friedrich Struve, então diretor do Observatório de Dorpat, segundo Kater, datam de 1826, ano em que ele também não conseguiu observar de novo as marcações vistas anteriormente. Este foi o motivo pelo qual Kater atrasou em cinco anos seu comunicado, na esperança de conseguir presenciar mais uma vez este evento (o que não ocorreu).

Em 1837, o astrônomo alemão Johann Franz Encke (1791 – 1865), diretor do Observatório de Berlim, observou com um telescópio refrator Fraunhofer com abertura de nove polegadas (cerca de 23cm) uma faixa escura no anel exterior (Figura 38).⁷⁸

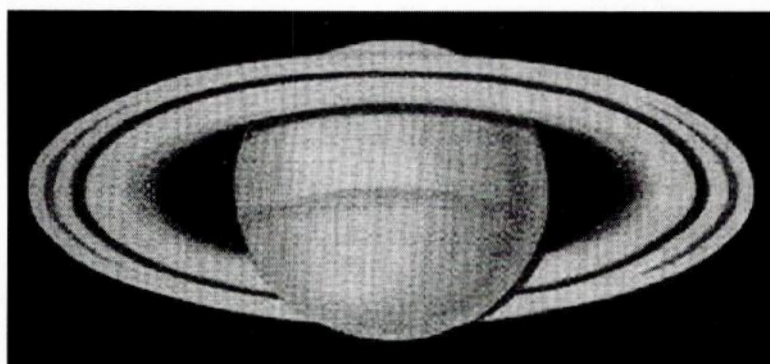


Figura 38 – Ilustração feita por J. Encke em 1837.

G. P. Bond, em seu artigo de 1851, comentou esta observação dizendo que “no dia 25 de abril de 1837, o anel externo foi visto pelo professor Encke, com perfeita distinção, dividido em duas partes quase iguais”. Esta descrição de Bond diz respeito à divisão mais larga observada anteriormente por Kater. Bond relatou ainda que:

No dia 28 de maio, o lugar do intervalo secundário externo foi determinado. A grande capacidade ótica do telescópio, e a eminência do professor Encke como observador, deram o maior valor a estas observações.

⁷⁸ Todavia, somente em 1888, o astrônomo norte-americano James E. Keeler (1857 – 1900) observaria claramente esta marcação, definindo-a como uma divisão real, que passou a ser chamada então de “divisão de Encke”. Como é possível notar, esta homenagem ao professor alemão não foi muito justa, visto que outros observadores antes dele já haviam registrado esta divisão, sendo que até então ela tinha sido considerada apenas como uma faixa escura. A divisão de Encke não é sempre visível, mesmo através dos melhores telescópios.

Bond se referia à localização da divisão fornecida por Encke durante esta observação, pois com o auxílio de um micrômetro, o alemão foi capaz de localizar a faixa escura a um terço de distância da extremidade interna do anel externo.

Após Encke, outros observadores também registraram a existência de uma ou várias faixas nos anéis. Entre eles, talvez os principais tenham sido Francesco de Vico (1805 – 1848), Heinrich S. Schwabe (1789 – 1875), e James Challis (1803 – 1882).

O astrônomo e jesuíta italiano Francesco de Vico, em 1838, utilizou um telescópio de seis polegadas (aproximadamente 15cm) de abertura no Observatório do Colégio Romano, e reportou a presença de três marcações no anel externo e duas no interno, alegando que estas zonas pareciam variar de acordo com a condição atmosférica (*seeing*).

O astrônomo e farmacêutico alemão Heinrich S. Schwabe, em 1841, também registrou a existência destas marcações. Schwabe ficou famoso pela sua descoberta do período de 11 anos do ciclo de atividade solar, na década de 1840.

Também observou raias escuras nos anéis o astrônomo e físico inglês James Challis, diretor do Observatório da Universidade de Cambridge, em 1842 e novamente em 1845. Ele utilizou um dos maiores telescópios refratores existentes na época, com abertura de 11,5 polegadas (cerca de 30cm).

Além destes três, também corroboraram a teoria das múltiplas divisões os astrônomos ingleses William Dawes e William Lassell, em 1843, com um refletor de nove polegadas, John R. Hind (1823 – 1895), em 1845, e Warren de la Rue (1815 – 1889), a partir de 1851. Sendo que este último, em 1856, fez uma ilustração que mostrava um grande número de anéis ao redor de Saturno (Figura 39).

Além da procura por marcações nos anéis, outro assunto que chamou a atenção dos astrônomos na primeira metade do século XIX foi o espaçamento entre o anel interno e o globo. Isso porque passou a se especular que o globo de Saturno não estava no centro do sistema de anéis.⁷⁹

Schröter começou sua investigação sobre isso antes mesmo do começo do século, já em 1796, fazendo uso de um telescópio de 19 polegadas (quase 50cm) de abertura, mas relatou apenas que este intervalo era uniformemente escuro, sem informar grandes diferenças nele.

⁷⁹ Esta questão, segundo alguns autores, foi primeiramente abordada pelo astrônomo francês Jean Charles Gallet (1637 – 1713) em 1684, porém existe muito pouca informação a respeito destas observações.

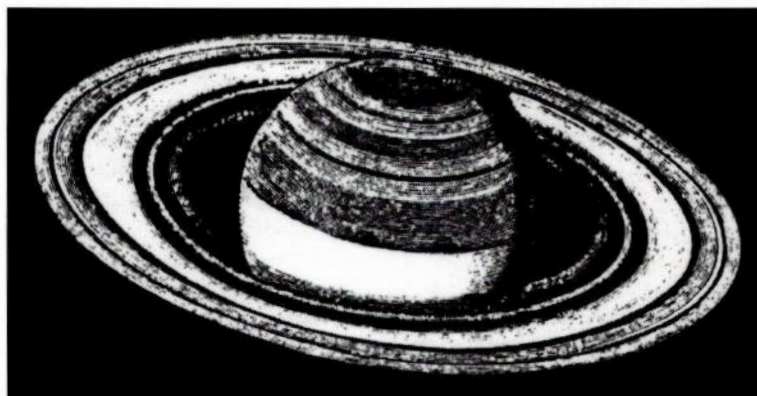


Figura 39 – Ilustração de Warren de la Rue feita em 1856, na qual é possível constatar a presença de várias divisões nos anéis.

Friedrich Struve, em 1826, também dedicou seu tempo a este estudo utilizando um telescópio com abertura de 9,6 polegadas (pouco menos de 25cm), e afirmou decididamente que o corpo do planeta não estava no centro do sistema.

Schwabe e Harding, ambos em 1827 (independentemente) também fizeram considerações a este respeito.

Estes trabalhos observacionais foram uma espécie de prelúdio de uma grande descoberta feita em 1850 e já citada anteriormente, que foi a do “anel de crepe”. Como já foi visto (nos capítulos 7 e 8) este anel vinha sendo observado desde o século XVII, e na primeira metade do século XIX não foi diferente.

Já em 1828, Kater observou Saturno e declarou que “o cinturão quádruplo também foi visto distintamente, e o sombreamento... da extremidade interior do anel interno”, relato este que lembra a observação realizada por William Herschel em 1793 (capítulo 8).

Mas vários autores consideram (erradamente) que quem primeiro observou vagamente este anel foi o alemão Johann G. Galle (1812 – 1910),⁸⁰ astrônomo adjunto do Observatório de Berlim. Em 1838, Encke, que era diretor deste observatório,

⁸⁰ Galle ficou famoso por ter sido o astrônomo que confirmou a existência de Netuno, em 23 de setembro de 1846, após receber indicações do astrônomo e matemático francês Urbain Le Verrier (1811 – 1877), que havia previsto matematicamente a existência deste planeta, assim como outros astrônomos naquele mesmo período. Entre eles estava o jovem astrônomo e matemático inglês John Couch Adams (aquele que ajudou a explicar o erro da “divisão de Ball” — como foi visto no capítulo 7), que havia chegado a este resultado independentemente de Le Verrier. Apesar de Adams ter concluído seu trabalho primeiro, foi Le Verrier quem recebeu as glórias desta descoberta, pois foi a partir de seus dados que Galle chegou a Netuno.

publicou um artigo no qual descrevia as observações realizadas por Galle naquele mesmo ano, possivelmente com um telescópio refrator de abertura de nove polegadas.

Já em 1851, Dawes escreveu um artigo no qual transcreveu alguns trechos daquele escrito por Encke. Ele citou as seguintes passagens:

“1838, 8 de maio. Ar muito bom. A extremidade interna do anel interno está fraca.

25 de maio. O espaço escuro entre Saturno e seu anel parecia ao Sr. Galle consistir, pelo menos até seu meio, da extensão gradual da extremidade interna do anel na escuridão de forma que o enfraquecimento deste anel interno tem amplitude considerável.

10 de junho. As extremidades internas do primeiro anel enfraquecem gradualmente no intervalo escuro entre o anel e a bola. Parecia, se nenhuma ilusão existe, que o anel, desde o começo do sombreamento inclusive, se estende quase além do meio do espaço na direção da bola de Saturno.”

Segundo Dawes:

Isso mostra que ele [Galle] viu a porção obscura do anel passando os limites do intervalo negro entre o anel e a bola para quase precisamente a mesma extensão como me pareceu na última aparição do planeta...

Dawes ainda afirmou que naquele período em que Galle fez suas observações não havia projeção de sombra dos anéis na superfície de Saturno, ou então ela seria muito estreita devido às posições relativas do Sol e da Terra. Isso permite concluir que estes registros eram mesmo referentes ao anel de crepe, que infelizmente naquele momento não foi reconhecido como tal.

Quando o anel de crepe foi realmente descoberto, em novembro de 1850, pelos astrônomos norte-americanos W. C. Bond e seu filho G. P. Bond, e independentemente na Inglaterra por Dawes, outros cientistas também fizeram um levantamento histórico das observações anteriores a esta descoberta. Vários observadores de Saturno ganharam créditos por suas observações (a maior parte deles já citados ao longo dos últimos capítulos), inclusive alguns cuja possibilidade de terem realizado tal ato é ainda hoje duvidosa, devido à escassez de registros. Entre eles estavam Jean Picard (1673), Jean Cassini (1715), e John Hadley (1720 e 1723).

No que diz respeito à descoberta do anel de crepe em si, um artigo publicado por W. C. Bond, diretor do Observatório da Universidade de Harvard, registrou este evento a partir de anotações feitas por seu filho G. P. Bond durante algumas noites de novembro de 1850. Ele citou os seguintes trechos:

Dia 11 de novembro, 22^h 50^m tempo sideral, (= 7^h 30^m tempo solar médio), definição muito boa. Nós notamos esta noite, com toda certeza, o preenchimento de luz dentro da extremidade interna do anel interno de Saturno; também, o que é bastante singular, onde o anel cruza a bola... *abaixo* da extremidade, há uma faixa escura, sem dúvida a sombra do anel. Mas há *também uma linha escura*... acima do anel, vista muito claramente,... onde o anel cruza a bola.

Dia 15 de novembro, 7^h 30^m. Examinado o novo anel de Saturno com diferentes aumentos, melhor definição com 400. Novo anel nitidamente definido; extremidade próxima à bola. W. C. Bond acha que ele vê o anel novo sem conexão com o velho, mas o lado próximo ao anel velho não está tão definido como perto do planeta, de forma que não é certo se o novo está conectado com o velho anel ou não. Onde o anel escurecido cruza Saturno, parece um pouco mais largo no lado de fora da bola do que no meio. Onde o novo anel cruza Saturno, não parece tão escuro como a sombra do anel abaixo no corpo do planeta.

Desta forma, Bond relatou a descoberta do novo anel de Saturno e afirmou ainda que “não pode haver dúvida de que ele existe”. O telescópio usado por eles para realizar esta descoberta foi um refrator Merz de 15 polegadas (cerca de 38cm) de abertura. G. P. Bond ainda publicou uma ilustração na qual mostrava o anel de crepe nas “alças”, e cruzando o globo do planeta (Figura 40).

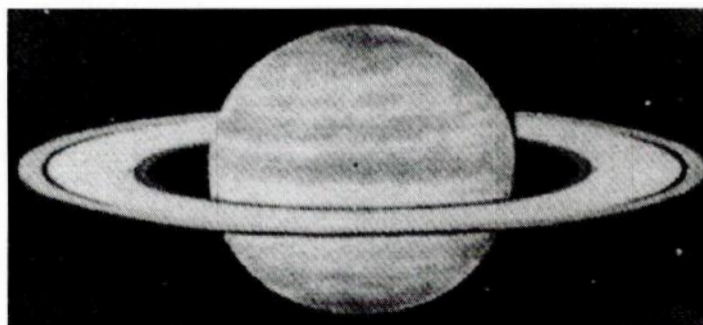


Figura 40 – Ilustração de G. P. Bond feita em 15 de novembro de 1850.

É justo ressaltar aqui que a idéia de um anel interno fosco foi primeiramente sugerida pelo astrônomo norte-americano Charles W. Tuttle (1829 – 1881), então assistente no Observatório de Harvard. Segundo o próprio W. C. Bond:

Na noite do dia 15 [de novembro de 1850], a idéia foi sugerida primeiro pelo Sr. Tuttle de explicar a luz penumbral contornando a extremidade interior do anel brilhante do lado de fora da bola, assim como a linha escurecida cruzando o disco no lado do anel oposto àquele onde sua sombra era projetada na bola, referindo ambos os fenômenos à existência de um anel fosco interior, agora pela primeira vez reconhecida como fazendo parte do sistema de Saturno.

Poucos dias depois, o reverendo William Dawes descobriu independentemente este mesmo anel. O telescópio usado por ele tinha pouco mais de seis polegadas de abertura, e Dawes descreveu esta observação da seguinte forma:

29 de novembro... Depois de alguns segundos de uma visão raramente aguçada, eu exclamei involuntariamente, ‘Óbvio.’ Há um sombreamento, como um crepúsculo, nas porções internas do anel interno, 7^h 30^m.

8^h 55^m... a linha escura a qual eu vi na extremidade sul do anel onde ele cruza a bola, não é nada mais que esta porção do anel sombreada, ou ainda, *não-reflexiva*, a qual nesta parte é projetada em uma linha muito estreita...

Dawes declarou ter notado uma aparência fosca nas “alças” anteriormente, no dia 25 de novembro, mas não foi possível registrar este fenômeno, pois tinha recebido visita em seu observatório. Ele ainda se referiu ao anel neste mesmo artigo como “anel de Bond”, deixando claro já ter conhecimento da descoberta de Bond quando escreveu seu texto. De acordo com Dawes o “*anel obscuro*... certamente não [é] *tão* escuro quanto a divisão principal do anel”. Ele ainda fez uma ilustração em dezembro de 1850 de Saturno cercado por seu “anel obscuro” (Figura 41).

O padre e astrônomo italiano Angelo Secchi (1818 – 1878), no dia 23 de novembro de 1850, notou algo estranho na sombra dos anéis e escreveu questionando William Lassell sobre este assunto. Segundo o padre, Lassell respondeu dizendo que aquilo era “um tipo de véu de crepe”, o que mostra que ele também já havia observado o anel de crepe naquele momento.

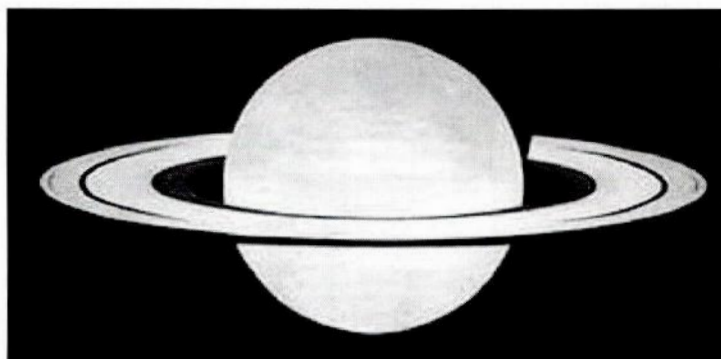


Figura 41 – Ilustração de William Dawes feita em dezembro de 1850.

No dia 3 de dezembro, Lassell visitou o reverendo William Dawes, em Wateringbury, onde eles observaram novamente o anel fosco, que Lassell batizou naquele momento, sem querer, de “anel de crepe”, ao se referir aquele corpo como tendo uma “aparência de crepe”.

A partir de um artigo de Lassell publicado em 1852 que a nomenclatura hoje utilizada ficou mais conhecida. Ele declarou: “Eu pretendo no futuro, ao falar dos anéis, adotar a nomenclatura do Sr. Otto Struve, chamando o anel externo *A*, o intermediário *B*, e o anel obscuro *C*”. Lassell ainda fez uma ilustração na qual mostrava estes três corpos ao redor de Saturno (Figura 42).

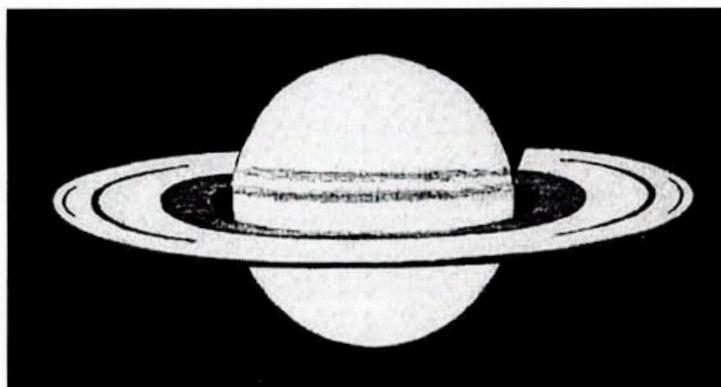


Figura 42 – Ilustração de William Lassell realizada em dezembro de 1850.

Antes disso, no dia 18 de setembro de 1848, Lassell descobriu o oitavo satélite de Saturno. Ele mesmo sugeriu, baseado no mesmo critério utilizado por John Herschel

para dar nome aos outros satélites, o nome de Hipérion, que também era um Titã. Este satélite foi descoberto independentemente pelos Bonds no dia 16 de setembro.⁸¹

Outra informação fornecida por Lassell foi com relação à transparência do anel de crepe e da divisão de Cassini. Em novembro de 1852, ele escreveu em um artigo:

Um dos fenômenos mais notáveis o qual eu reparei pela primeira vez, é a *evidente transparência do anel obscuro*... O anel C, cruzando a bola, é de uma textura ou cor muito mais clara que as outras partes, e ambos os limbos do planeta podem ser localizados prontamente através dele... O efeito é precisamente aquele de uma faixa de *crepe* estirada dentro do anel, a qual, projetada na bola branca, poderia aparecer com uma coloração mais clara do que quando projetada no céu escuro. Há evidentemente, também, uma palidez súbita da divisão principal dos anéis onde ela cruza a bola... como se em algum grau, pelo menos, a bola fosse vista através da divisão.

Alguns outros cientistas também notaram esta peculiaridade do anel de crepe naquela época. Um deles foi o astrônomo inglês, capitão William Jacob (1813 – 1862), que o fez pouco antes de Lassell, em agosto daquele mesmo ano, no Observatório de Madras, na Índia. Já os Bonds só notaram esta característica em 1853. Esta foi uma das evidências que levaram à contestação da solidez dos anéis (assunto que será melhor explorado no próximo capítulo).

Todos estes fatores e as novas descobertas realizadas nesta primeira metade do século XIX abriram as portas para que um grande nome da ciência, o brilhante físico escocês James Clerk Maxwell (1831 – 1879), chegasse à solução definitiva sobre o problema da constituição dos anéis de Saturno, conforme será visto próximo capítulo.

⁸¹ O próximo satélite a ser descoberto foi Febe, em 1898. Esta descoberta, porém, assim como a das demais luas descobertas posteriormente, não será tratada neste trabalho, posto que este se restringe cronologicamente ao período da solução do problema dos anéis de Saturno, ocorrida em meados do século XIX.

10. A SOLUÇÃO DE MAXWELL

Em meados do século XIX, a solução para o problema da constituição dos anéis de Saturno começou a brotar, com base em todas as evidências obtidas até aquele momento sobre o planeta, principalmente a descoberta do anel de crepe e a observação de novas divisões.

Um trabalho que possivelmente teria influenciado esta solução foi o realizado pelo jovem astrônomo e matemático francês Edouard Roche (1820 – 1883), em 1848. Infelizmente, os resultados obtidos por ele, que foram publicados em 1849 nas Memórias da Academia de Ciências de Montpellier (onde Roche lecionava matemática), só se tornaram amplamente conhecidos depois que Maxwell completou seu artigo sobre os anéis de Saturno.

Roche confeccionou uma teoria matemática a fim de explicar a origem do sistema de anéis. Ele discutiu a estabilidade de um corpo fluido, que outrora poderia ter sido um satélite, sofrendo o efeito de maré ocasionado por seu planeta. Segundo Roche, caso ambos tivessem a mesma densidade, o corpo subordinado ao primário, ao atingir uma distância crítica de 2,44 vezes o raio do planeta, se romperia e seus fragmentos de rocha formariam um sistema de anéis.⁸² Ele notou ainda que esta distância era “um pouco superior ao raio exterior do anel de Saturno”.⁸³

Esta parece uma boa explicação para a existência dos anéis. Talvez um satélite tenha por alguma razão se aproximado de Saturno o suficiente para se desintegrar, em consequência do efeito de maré. Ou, talvez, durante a formação deste planeta tenha havido uma grande quantidade de matéria que daria origem a um astro secundário, mas que graças à pequena distância entre estes corpos, foi impedido de se formar.

⁸² A distância crítica sugerida por Roche foi mais tarde chamada de “limite de Roche”, e embora tenha influenciado pouco seus contemporâneos, teve uma tremenda influência em vários estudos do século XX.

⁸³ A extremidade mais interna do anel C dista de Saturno 1,28 vezes seu raio equatorial, e a mais externa do anel A, 2,27 vezes este raio, ou seja, o que se conhecia do sistema anelar naquele tempo estava dentro do limite de Roche. Hoje, entretanto, se sabe que este sistema não está todo dentro do limite de Roche.

De qualquer forma, a idéia de que os anéis se encontravam em um estado fluido começou a tomar corpo e, em 1849, John Herschel registrou em seu *Outlines of Astronomy* (“Esboços de Astronomia”) uma especulação sua sobre este assunto. Segundo ele:

Linhas escuras (aparentemente de natureza transitória) têm sido observadas nos anéis brilhantes paralelas ao intervalo escuro permanente [divisão de Cassini] dividindo-os, e parecendo indicar uma constituição fluida (possivelmente vaporosa) destes maravilhosos apêndices.

Já em 15 de abril de 1851, George P. Bond explorou esta questão em um artigo apresentado numa reunião da *American Academy of Arts and Sciences*, no qual ele reexaminou trabalhos observacionais e teóricos sobre os anéis de Saturno.

Neste estudo, Bond concluiu que um sistema de anéis sólidos, estreitos e irregulares (como o proposto por Laplace) não poderia ser estável. Ainda segundo ele: “A hipótese que o anel inteiro está em um estado fluido, ou pelo menos não coere fortemente, apresenta menos dificuldades”. Além disso, esta teoria também

...poderia explicar o fato de ocasionais subdivisões serem vistas. O fato de elas serem visíveis por um tempo curto, e então desaparecerem, para os telescópios mais poderosos, é explicado pela remoção das fontes do distúrbio, quando as partes separadas rapidamente se reúnem.

Seu colega na Universidade de Harvard, o astrônomo e matemático norte-americano Benjamin Peirce (1809 – 1880), confirmou sua hipótese, após desenvolver uma pesquisa própria sobre a constituição dos anéis. Peirce elaborou um artigo que foi lido para a *American Association for the Advancement of Science*, e publicado em 16 de junho de 1851. A diferença entre os dois trabalhos, porém, foi que Peirce se declarou apto a mostrar teoricamente que aquela estrutura não poderia ser sólida. De acordo com ele:

O argumento do Sr. Bond para a fluidez do anel de Saturno é principalmente derivado da observação; ao passo que eu me comprometi a demonstrar, por considerações puramente mecânicas, que ele não pode ser sólido. Eu mantenho, incondicionalmente, que *não há nenhuma forma concebível de irregularidade e*

nenhuma combinação de irregularidades, consistente com um anel de verdade, que serviria para retê-lo permanentemente ao redor do primário, se ele fosse sólido.

Ainda segundo Peirce:

...um anel sólido seria destruído logo, e... o anel de Saturno deve, então, ser fluido. Ele consiste, em resumo, de uma torrente, ou várias torrentes, de um fluido um pouco mais denso que água, fluindo ao redor do planeta.

Todavia, esta “torrente” não poderia ser mantida em equilíbrio estável somente pela ação do planeta. Assim, de acordo com Peirce, as perturbações dos satélites de Saturno ajudariam a estabilizar a estrutura dos anéis. Ele ainda afirmou que numa primeira aproximação haveria 20 anéis fluidos, o que foi considerado com sendo o limite máximo. Peirce não apresentou nenhum cálculo em seu artigo para basear suas afirmações, mas ao final deste, confessou que sua pesquisa tinha feito com que ele abandonasse sua oposição a hipótese nebular de Laplace.

Com base no *abstract* do artigo de Peirce e como seguidor da hipótese nebular, o astrônomo norte-americano Daniel Kirkwood (1814 – 1895) publicou, também em 1851, um artigo sobre os anéis de Saturno, no qual afirmava que eles representavam “a mais recente formação cósmica dentro dos limites do Sistema Solar”. Ele disse ainda que:

A evidência de sua solidez não é, eu penso, de forma alguma conclusiva. Por outro lado, observações feitas nos últimos anos dão um grau de plausibilidade à presunção de que poderia estar em um estado de fluidez. Eu me refiro à aparição ocasional de linhas escuras, principalmente no anel externo, que se supôs indicar uma subdivisão em vários anéis concêntricos. Elas, porém, não parecem ser permanentes.⁸⁴

⁸⁴ Kirkwood, em 1866, propôs uma teoria de ressonância que apresentava uma explicação satisfatória para a existência do cinturão de asteróides, e que mais tarde ficou conhecida como “lacuna de Kirkwood”. Em 1872, ele sugeriu que esta ressonância ocorria também nos anéis de Saturno. Segundo Kirkwood, uma partícula dos anéis na posição da divisão de Cassini teria um período de revolução de 11,3 horas. Este período equivale à cerca da metade do período do satélite Mimas, um terço do de Encélado, um quarto do de Tétis, e um sexto do de Dione. Assim, esta partícula seria perturbada por um destes satélites uma ou duas vezes por dia, sendo forçada a ocupar uma órbita diferente.

A observação de subdivisões nos anéis e as notícias de que o anel de crepe e a divisão de Cassini eram transparentes, ocorridas a partir de 1852, apenas confirmavam a tendência de que os anéis de Saturno não poderiam ser sólidos. E para endossar esta idéia, ainda em 1852, Otto Struve reviu as medidas das dimensões destes anéis desde Huygens, passando por vários outros cientistas que contribuíram com esta questão, e comparou estes valores com as suas medições feitas em 1851. Este levantamento histórico lhe permitiu concluir que:

...a extremidade interna do luminoso anel interior está se aproximando gradualmente do corpo do planeta, enquanto ao mesmo tempo a amplitude total dos dois anéis brilhantes está aumentando constantemente.

Ao longo daquela década a pesquisa de Struve criou algumas controvérsias entre os estudiosos da época. Hoje se sabe que sua conclusão não estava correta, mas naquele período a discussão proveniente deste trabalho foi, juntamente com os outros eventos já narrados, o trampolim para que o interesse nos anéis de Saturno se tornasse o assunto para o 4º Prêmio Adams, oferecido pela Universidade de Cambridge.⁸⁵

A estabilidade dos anéis de Saturno foi o assunto deste prêmio em 1856, mas antes que se chegasse a este tema, ele foi amplamente debatido em cartas abertas entre seus examinadores, o professor de astronomia e filosofia experimental em Cambridge, James Challis, e o célebre físico britânico Sir William Thomson (1824 – 1907), que entrou para a história da Física com seu nome nobiliárquico: Barão Kelvin de Largs, ou simplesmente Lorde Kelvin, e que naquele tempo era professor de filosofia natural na Universidade de Glasgow.⁸⁶

Em sua primeira carta a Kelvin, datada de 28 de fevereiro de 1855, Challis se mostrou preocupado em encontrar um tema que atraísse competidores, visto que o

⁸⁵ O Prêmio Adams foi criado em 1848 com o intuito de homenagear o astrônomo e matemático inglês John Couch Adams. Adams e o astrônomo francês Urbain Le Verrier previram, independentemente, a existência do planeta Netuno, mas o crédito da descoberta só foi concedido a este último. A Universidade de Cambridge decidiu homenagear seu filho pródigo batizando um prêmio científico com seu nome. Quando foi criado, o Prêmio Adams era conferido bianualmente para os melhores ensaios nas áreas de física, matemática, astronomia, e até mesmo filosofia natural.

⁸⁶ James Challis acabou se tornando um dos organizadores do Prêmio Adams, o que não deixa de ser irônico. Foi graças a uma atitude dele que Adams não teve o reconhecimento pela descoberta de Netuno. Challis recebeu o resultado dos estudos de Adams mas não deu importância, deixando de observar o planeta no local e na hora sugerida por Adams. Ao contrário de Galle que, a partir das informações passadas por Le Verrier, observou Netuno. Estudos recentes, porém, indicam que os valores apresentados por Adams não eram precisos o suficiente para que o planeta fosse observado, mas ainda assim Challis não se livrou deste estigma que marcou sua história.

assunto sugerido no prêmio anterior, sobre o cometa Biela, não havia despertado interesse de ninguém. Desta forma, Challis apelou para que Kelvin sugerisse um tema que fosse mais atrativo aos candidatos. Acompanhando a carta estava a seguinte lista de “Temas sugeridos para o Prêmio Adams”:

(1) Uma investigação das perturbações da lua em latitude produzida pela ação de Vênus; e particularmente do movimento secular, e as desigualdades de período longo no movimento, do nodo da Lua.

(2) Uma investigação completa da teoria das perturbações de dois planetas quando seus movimentos seculares são exatamente comensuráveis: especialmente no caso em que a proporção dos seus movimentos seculares é de 2 para 1.

(3) Uma investigação das perturbações das formas dos anéis de Saturno, supondo que eles são fluidos.

*** Uma comparação das medidas modernas com as antigas dos diâmetros externo & interno dos anéis de Saturno que tem mostrado ser provável que as formas dos anéis estão sofrendo mudança, requerendo dos candidatos averiguar, sobre a suposta fluidez dos anéis, que mudanças de forma podem ser devido às perturbações dos satélites de Saturno, e as perturbações do Sol e dos planetas, e o que seria o efeito de um meio resistente, supondo o movimento do planeta ao redor do Sol combinado com um movimento do Sistema Solar. Os anéis podem ser supostos em uma época fixa como tendo uma espessura muito pequena, circular e concêntrico com Saturno, & ser simétrico com relação ao plano do Equador de Saturno.

(4) Uma explicação da Aberração da Luz.⁸⁷

Os dois primeiros tópicos foram sugeridos pelo astrônomo inglês George Biddell Airy (1801 – 1892), então Astrônomo Real no Observatório de Greenwich. Já os dois últimos foram sugeridos pelo próprio Challis, que ainda deixou Kelvin à vontade para sugerir outros temas que lhe pudessem ocorrer. Challis ainda ressaltou que:

⁸⁷ Este tópico causa estranheza, visto que a aberração da luz havia sido descoberta e explicada pelo astrônomo inglês James Bradley (1693 – 1762), em 1728, mais de cem anos antes. É muito provável que a dúvida real neste período fosse relativa à velocidade da luz, pois esta ainda era uma incógnita e naquele momento vários cientistas se dedicavam ao estudo desta constante.

...o terceiro não é um tema ruim, se puder ser tratado definitivamente... Se este tema for tratado para decidir se as perturbações de corpos estranhos poderiam dar ou não origem a tal mudança de forma dos anéis, um passo será dado na ciência.

Kelvin parecia ter aprovado a questão sobre os anéis de Saturno, e considerava que esta discussão traria bons resultados. Assim, além de aceitar a escolha de Challis, ficou também bastante intrigado sobre este assunto. No anúncio com o tópico definitivo para o 4^o Prêmio Adams, publicado em 23 de março de 1855, todas as pequenas sugestões dadas por Kelvin foram adotadas, sendo este o resultado final:

Os Movimentos dos Anéis de Saturno.

O problema pode ser tratado supondo-se que o sistema de anéis é exatamente ou muito aproximadamente concêntrico com Saturno e simetricamente disposto sobre o plano de seu equador, e diferentes hipóteses podem ser feitas com respeito à constituição física dos anéis. Pode se supor (1) que eles são rígidos; (2) que eles são fluidos, ou em parte aeriforme; (3) que eles consistem em massas de matéria não coerente mutuamente. A questão será considerada respondida averiguando nestas muitas hipóteses, se as condições de estabilidade mecânica são satisfeitas pelas atrações mútuas e movimentos do planeta e dos anéis.

É desejável que um esforço também seja feito para determinar em qual das hipóteses acima ambas as aparências, dos anéis luminosos e do recentemente descoberto anel obscuro, podem ser explicadas satisfatoriamente; e indicar quaisquer causas para as quais uma mudança de forma, como é suposto por uma comparação de observações modernas com as mais antigas, possa ser atribuída.

Como se pode notar, os resultados de Otto Struve, que ajudaram a inspirar Challis neste tema, não eram mais tão importantes. O intuito principal do ensaio deste Prêmio Adams não era mais mostrar porque os anéis mudavam, mas sim mostrar sob quais condições eles seriam estáveis.

Segundo os editores do livro *Maxwell on Saturn's Rings* ("Maxwell sobre os anéis de Saturno"), Stephen G. Brush, C. W. F. Everitt, e Elizabeth Garber, o único candidato ao Prêmio Adams foi o próprio James Clerk Maxwell que enviou seu ensaio

aos examinadores no final de 1856. Entretanto, Benjamin Peirce havia escrito um artigo também sobre este assunto, em 1855, intitulado *On the Adams Prize-Problem for 1856* (“Sobre o problema do Prêmio Adams para 1856”), no qual ele comentava que já tinha abordado esta questão anteriormente (conforme já foi visto neste capítulo), e afirmava que com algumas modificações nesta abordagem “a solução se torna simples, facilmente acessível para uma habilidade moderada em geometria”.

Neste artigo, Peirce finalmente fez uma análise matemática do problema da estabilidade dos anéis, o qual ele informou que dividiriam em três casos: “sólido, fluido, e descontínuo”. Todavia, este trabalho de Peirce não termina, prometendo uma continuação que, de acordo com aqueles editores, não foi lançada (pelo menos não com o mesmo título). De qualquer forma, este artigo não foi submetido pelo autor para que os examinadores do Prêmio Adams o avaliassem.

Assim, o jovem Maxwell, foi o ganhador do Prêmio Adams, em junho de 1857. Em algumas referências é possível encontrar declarações de que este prêmio foi ganho por Maxwell em 1856, o que está errado, visto que este só era conferido em anos ímpares. 1856, como já foi dito, foi o ano em que este trabalho foi submetido à banca examinadora.

Antes de se aventurar a desvendar os mistérios que ainda cercavam (literalmente) Saturno,⁸⁸ ele já havia produzido trabalhos científicos sobre a geometria das ovas e sobre a teoria das cores. Maxwell desenvolveu seu trabalho sobre as ovas aos quatorze anos de idade, sendo que este só foi publicado mais tarde, em 1849. Já a série de artigos sobre a teoria das cores foi publicada na década de 1850, resultado de estudos realizados neste mesmo período.

Em seu ensaio intitulado *On the stability of the motion of Saturn's rings* (“Sobre a estabilidade do movimento dos anéis de Saturno”), Maxwell provou que o sistema de anéis só poderia ser estável se consistisse de uma grande quantidade de partículas. Por várias décadas, este tratamento dado por Maxwell foi definitivo,⁸⁹ e após a publicação

⁸⁸ Segundo o *site* da Escola de Matemática e Estatística da *University of St. Andrews* <<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/history/Mathematicians/Maxwell.html>>, quando ainda era aluno da *Edinburgh Academy* (onde entrou com dezesseis anos de idade), Maxwell e seu amigo, o também cientista Peter Guthrie Tait (1831 – 1901), em 1847, pensaram sobre o problema dos anéis de Saturno. Todavia, apenas anos mais tarde ele viria a realizar seu trabalho sobre este assunto.

⁸⁹ Na segunda metade do século XX, alguns cientistas rediscutiram o trabalho de Maxwell e encontraram algumas falhas, mas de qualquer forma a integridade de sua solução sempre foi preservada, principalmente quando sondas espaciais foram enviadas em missões e constataram finalmente que os anéis de Saturno eram realmente compostos de vários fragmentos de rocha que giravam ao redor do planeta.

de seu artigo em 1859 (Figura 43), seus resultados regeram a comunidade astronômica. Com este trabalho, aos 26 anos de idade, Maxwell consolidou sua carreira, e estabeleceu definitivamente sua reputação na área da Física-Matemática.

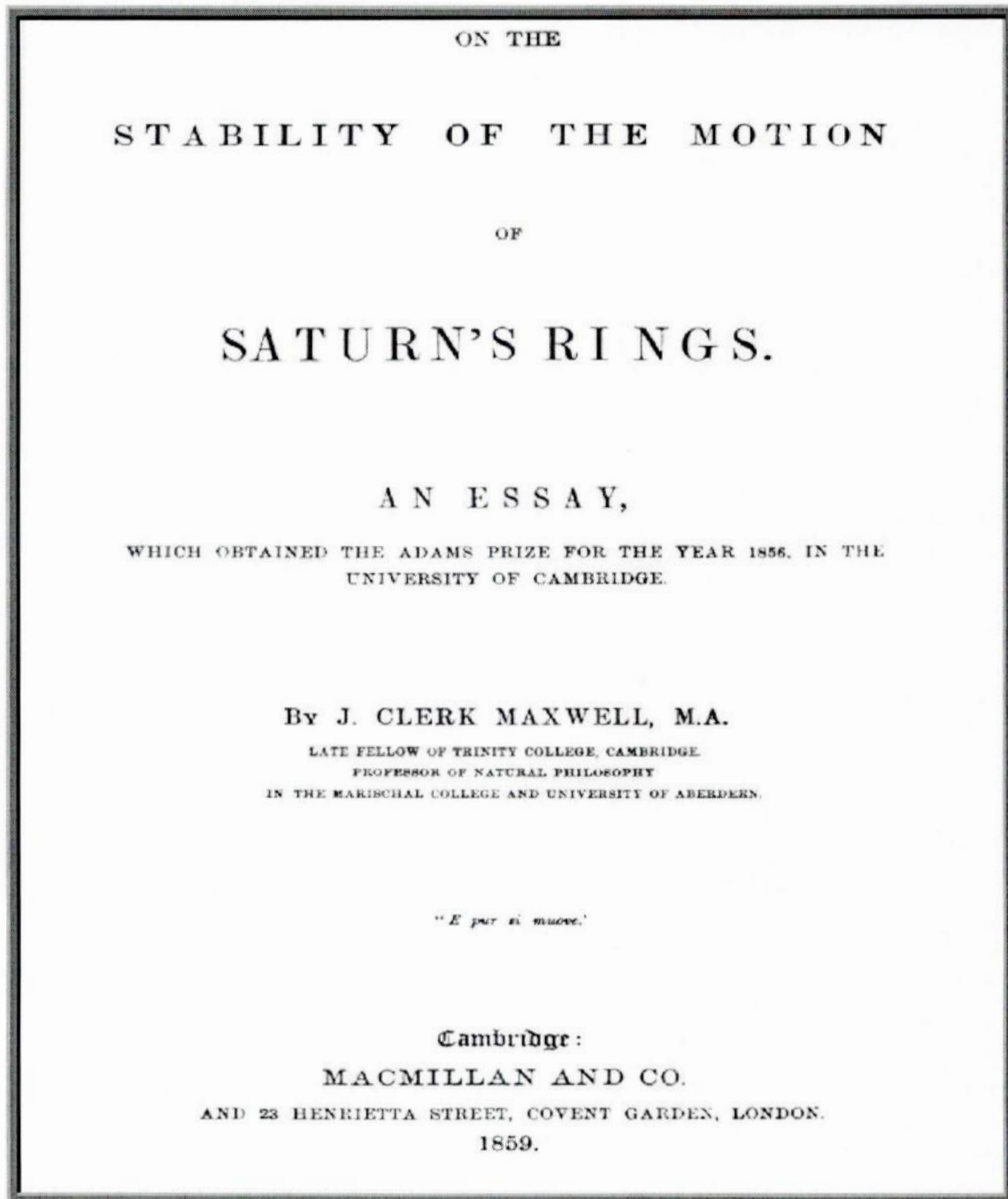


Figura 43 – Página-título do ensaio de James C. Maxwell publicado em 1859. A data que indica o ano da premiação nesta página está errada. Além disso, é possível notar também uma homenagem a Galileu, na citação de sua célebre frase “*E pur si muove*”.

O texto escrito por Maxwell que serviu como uma espécie de introdução para este ensaio pode ser encontrado na íntegra no apêndice E. Após esta introdução, Maxwell partiu para a abordagem do problema em si, dividindo-o em duas partes: (I) Sobre o movimento de um corpo rígido de qualquer forma ao redor de uma esfera; e (II): Sobre o movimento de um anel, cujas partes não são rigidamente conectadas.

Na primeira parte, foram definidas algumas quantidades variáveis, as quais Maxwell chama de “raio vetor, longitude e ângulo de libração do anel”, respectivamente r , θ , e φ (Figura 44). O valor destas três variáveis fornecia a posição do anel, e a escolha certa delas era muito importante, pois favorecia a obtenção de um conjunto elegante de equações fundamentais. Em seguida, ele determina as forças entre o planeta e o anel através das equações do movimento em termos do que foi identificado como “função potencial”, representado pela letra V .

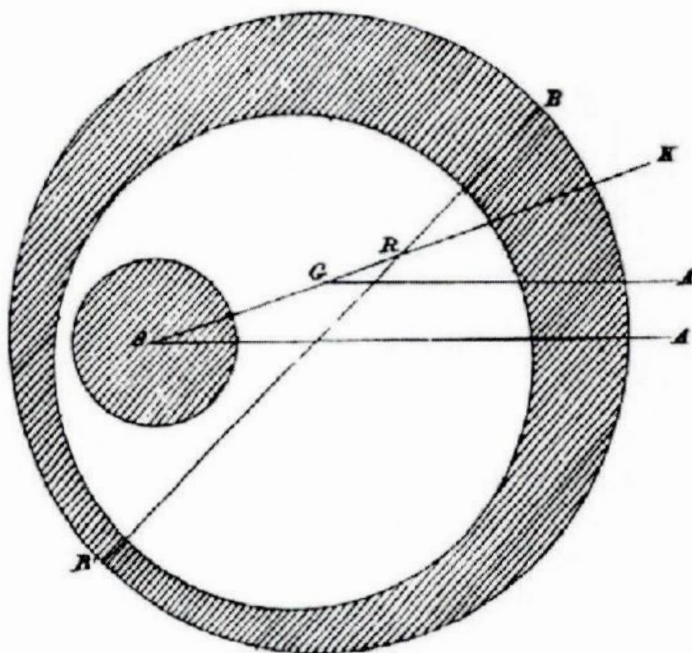


Figura 44 – Ilustração de James C. Maxwell na qual ele estabelece as variáveis necessárias para resolução do problema. Na figura, S corresponde ao centro de gravidade de Saturno, R ao centro de gravidade do anel ao seu redor, e G é o centro de gravidade do sistema. Já as quantidades definidas por Maxwell são: SR=raio vetor (r); AGR=longitude (θ); e BRK=ângulo de libração (φ).

Tendo construído as equações de movimento para o sistema de anéis, e presumindo-o rígido, Maxwell dá seis passos — ou, como ele considera, seis “problemas” — para mostrar que essa situação se traduz em um paradoxo.

No primeiro passo, Maxwell mostra as condições para tal movimento uniforme

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 = -\frac{R+S}{Rr} \frac{dV}{dr} = \omega^2, \text{ e } \frac{dV}{d\varphi} = 0, \text{ onde } \omega \text{ é a velocidade angular,}$$

e passa a se perguntar o que aconteceria se o sistema fosse ligeiramente perturbado. Ele seria estável ou instável?

Já no segundo passo, ele obtém as equações do movimento ligeiramente perturbado.

O terceiro passo foi estritamente matemático. Nele, Maxwell transforma três equações do movimento simultâneas (r, θ, φ) em uma única equação linear:⁹⁰

$$An^4 + Bn^2 + C = 0$$

onde:

$$\begin{aligned} A &= R^2 r_0^2 k^2, \\ B &= 3R^2 r_0^2 k^2 \omega^2 - R(R+S)Lr_0^2 k^2 - R\{(R+S)k^2 + Sr_0^2\}N \\ C &= R\{(R+S)k^2 - 3Sr_0^2\}\omega^2 + (R+S)\{(R+S)k^2 + Sr_0^2\}\{LN - M^2\} \end{aligned}$$

(L , N e M são derivadas segundas do potencial V , r_0 é a distância não-perturbada e k é o raio de giro do anel ao redor do centro de gravidade).

No quarto passo, Maxwell determina a estabilidade (ou a falta de) do movimento do anel em relação aos coeficientes da equação encontrada no passo anterior. Em um belo argumento qualitativo, ele conclui que todas as quatro possíveis raízes desta equação são imaginárias puras. Assim, surgem vínculos entre seus coeficientes.

No quinto passo, Maxwell muda um pouco sua abordagem e da matemática pura parte para a árdua tarefa de escrever o potencial devido ao anel (supondo que este era irregular). Seu grande feito neste momento foi justamente a construção deste potencial, cuja “pedra fundamental” é a densidade linear de massa, μ .

⁹⁰ Na verdade, esta equação é um operador, pois $n = \frac{d}{dt}$.

É na fórmula de μ que aparecem os coeficientes f , g e h , referentes à inhomogeneidade do anel. O potencial, e suas derivadas, será escrito com base nesses coeficientes. A equação do potencial é

$$V = \frac{R}{a} \left\{ 1 - f \frac{r_1}{a} + \frac{1}{4} \frac{r_1^2}{a^2} (1 + g) + \frac{1}{2} \frac{h}{a} f r_1 \varphi_1 + \frac{1}{4} f^2 \varphi_1^2 (3 - g) \right\}$$

onde a é o raio do anel, e os valores com índice “1” são relativos às perturbações.

De posse das derivadas, Maxwell fez algumas considerações qualitativas a respeito da inhomogeneidade do anel.

No sexto e último passo, ele junta a matemática do passo 4 à física do passo 5 e estuda como se relacionam os coeficientes f , g e h para que o movimento do anel seja estável. Ele divide este estudo em três casos: anel uniforme, anel mais denso em um lado que do outro, e anel “carregado” com uma massa. Os dois primeiros casos são impossíveis dada a matemática do problema. O terceiro caso é matematicamente possível, mas contradiz as observações.

Sobre este fato, Maxwell declara que:

O resultado desta teoria de um anel rígido não só mostra que um anel perfeitamente uniforme não pode girar permanentemente ao redor do planeta, mas que a irregularidade de um anel permanentemente girando deve ser uma quantidade muito observável, sendo a distância entre o centro do anel e o centro de gravidade entre 0,8158 e 0,8279 do raio. Como não há uma aparência dos anéis que justifiquem uma crença em uma irregularidade tão grande, a teoria da solidez dos anéis fica muito improvável.

A parte II, “Sobre o movimento de um anel, cujas partes não estão rigidamente conectadas”, é muito mais complexa e extensa. Está dividida em 33 passos que podem ser agrupados em três “blocos conceituais” (anel formado por satélites, anel fluido, e múltiplos anéis), subdivididos em “módulos” independentes.

O primeiro “módulo” é formado pelos cinco primeiros passos. Maxwell introduz o problema (1), constrói um sistema de coordenadas adequado (2), descreve o método

matemático que será utilizado (3),⁹¹ descreve a atração entre dois elementos do anel (4) e constrói a forma da perturbação causada por uma massa em outra (5). Nesse último passo, ele ainda argumenta que a perturbação é simétrica e transforma coeficientes numéricos em somatórios, obtendo as forças radial, tangencial e normal sobre um “satélite-teste” pertencente ao anel.⁹²

Os passos 6 a 14 formam o segundo “módulo” do primeiro “bloco conceitual”, e investigam a estabilidade do anel composto por partes desconexas. Em suas palavras, se as perturbações “se propagam pelo anel como ondas”, o anel é estável. Estudando separadamente as componentes normal, tangencial e radial, Maxwell obtém importantes relações matemáticas que fornecem uma medida da estabilidade do sistema. Dando forma à perturbação, ele conclui que um dado satélite qualquer realiza uma elipse em relação ao ponto de equilíbrio. Somando este movimento ao movimento do ponto de equilíbrio, Maxwell produz o movimento absoluto de um satélite qualquer. Mas isso não é o suficiente, e ele escreve:

Mas, como todos os satélites são igualmente livres, o movimento de um produzirá mudanças nas forças agindo sobre os demais, e isso os colocará em movimento, e este movimento se propagará de um satélite a outro ao redor do anel. Perturbações propagadas são ondas, e todas as ondas, por mais complicadas que sejam, podem ser reduzidas a combinações de ondas simples e regulares; e portanto todas as perturbações do anel podem ser vistas como resultantes de várias séries de ondas, de diferentes comprimentos e viajando com diferentes velocidades.

De posse do movimento absoluto de um satélite qualquer, e da forma de propagação das ondas de perturbação, Maxwell pode encerrar este “módulo”. Em suas palavras:

...dados a posição e o movimento de todos os satélites do anel em um instante qualquer, [é possível] calcular a posição e o movimento de todos os satélites em qualquer outro instante, desde que a condição de estabilidade seja respeitada.

⁹¹ Maxwell adotou o método criado pelo matemático francês Jean Baptiste Fourier (1768 – 1830) em seu tratado intitulado *Théorie analytique de la chaleur* (“Teoria analítica do calor”) de 1822, que mais tarde ficou conhecido como “séries de Fourier”.

⁹² Há um exemplo numérico para um anel de 36 satélites.

Em seguida, Maxwell aborda, em três passos, “o efeito de uma força perturbadora externa, devida ou às irregularidades do planeta, ou à atração dos satélites ou ao movimento de ondas em outros anéis”. Segundo o autor, o caso mais notável (e que será estudado em detalhes mais adiante) é o da perturbação provocada por um segundo anel. Antes disso, porém, Maxwell chama a atenção do leitor para alguns casos de perturbação destrutiva (quando o anel se torna instável).

Maxwell conclui o estudo de um anel formado por satélites idênticos analisando os casos onde as condições de estabilidade não são preenchidas:

Encontramos dois casos de instabilidade, dependendo da natureza da força tangencial devida ao deslocamento tangencial. Se esta força for na direção oposta ao deslocamento, isto é, se as partes do anel forem *estaticamente estáveis*, o anel será destruído, as irregularidades se tornando cada vez maiores sem que se propaguem ao redor do anel. Quando a força tangencial for na direção do deslocamento tangencial, se for menor que um certo valor, as perturbações se propagam ao redor do anel sem que fiquem maiores, e teremos o caso de estabilidade já tratado extensamente. Se a força exceder este valor, as perturbações ainda vão circular pelo anel, mas crescerão em amplitude até o anel perder coerência.

O passo 19 pode ser considerado um “epílogo” do que Maxwell fez até agora na parte II de seu artigo, pois trata de um anel formado por satélites desiguais. Imaginando os satélites menores mais próximos entre si, e os satélites maiores mais afastados, de modo que a atração entre eles seja basicamente a mesma do caso anterior, Maxwell consegue habilmente generalizar sua solução particular inicial.

Após concluir sua discussão sobre um anel formado por satélites, Maxwell passa a investigar “o caso de um anel construído de uma forma totalmente diferente”, abrindo o segundo “bloco conceitual”. No passo 20, ele compara um anel à chuva, “uma quantidade de matéria, sólida ou líquida, não organizada em uma massa contínua, mas espalhada por um grande volume de espaço”.

No próximo “módulo” (passos 21 a 24), Maxwell faz considerações sobre a densidade média e a velocidade angular de um anel fluido para que ele seja estável. Partindo de um plano infinito e fazendo “cortes” para chegar à forma anelar, ele calcula

um limite para a densidade média do anel, em relação à do planeta, e argumenta ainda que tal anel não pode ter velocidade angular constante em toda sua extensão radial.

É curioso notar que Maxwell especula que um anel fluido pode dar origem a um anel de satélites.

Aparentemente, um anel composto por uma massa líquida contínua não pode orbitar um corpo central sem se desfazer, mas suas partes podem, sob certas circunstâncias, formar um anel de satélites.

Maxwell dedica os próximos seis passos (25 a 30), que formam o terceiro e último “bloco conceitual” ao estudo de um sistema em particular: dois anéis concêntricos. Em suas palavras:

Já investigamos as perturbações produzidas por uma força externa independente do anel; mas o caso especial de perturbações mútuas de dois anéis concêntricos é consideravelmente mais complexo, porque a existência de um sistema duplo de ondas muda o caráter de ambos, e as ondas produzidas reagem com aquelas que as produzem.

A matemática é extensa, mas é basicamente uma releitura, em segunda ordem, do método perturbativo usado antes (ondas se propagando ao longo do anel). Por exemplo, as ondas de perturbação do anel interno causam um conjunto de ondas no anel externo que, por sua vez, fazem surgir um segundo conjunto de ondas no anel interno.

Para tal sistema ser estável, Maxwell mostra que o número de condições a serem respeitadas é grande, a mais importante delas sendo a distância entre os anéis.

Ao final do passo 30, Maxwell lembra ao leitor que o caso de dois anéis concêntricos pode ser generalizado para qualquer quantidade de anéis, visto que tal sistema sempre poderá ser tratado como um conjunto de pares de anéis.

Maxwell termina suas considerações com dois passos (31 e 32) onde investiga “o efeito de perturbações de longa duração em um sistema de anéis”, e um passo (33) onde estuda “a perda de energia devido à fricção”. Ambos os casos provocariam um alargamento do anel, algo que não é observado.

Ele encerra o artigo vencedor do Prêmio Adams com uma recapitulação da teoria apresentada. É nesta parte do trabalho que se encontram suas conclusões, traduzidas no apêndice F.

Este foi o grande divisor de águas na história dos anéis de Saturno, pois trouxe um fim a todas as especulações a respeito de sua composição com uma base matemática incontestável. A prova de que sistema de anéis para ser estável deveria ser composto por um número indefinido de partículas desconexas, levou pouco mais que uma década para se disseminar em toda comunidade científica da época.

Antes disso, George Airy apresentou o resultado de Maxwell a *Royal Astronomical Society* em junho de 1859. Neste seu artigo, Airy deu uma atenção especial ao trabalho de Peirce, possivelmente na intenção de refutar as sugestões de que este havia resolvido o problema antes de Maxwell. Depois de fazer uma análise das investigações de Maxwell, Airy declarou que:

...a teoria dos anéis de *Saturno* é agora posta em um alicerce totalmente diferente de qualquer outro que ela tenha ocupado antes, e o ensaio teórico que nós temos é uma das mais extraordinárias contribuições à astronomia mecânica que apareceu em muitos anos.

Maxwell, até onde se sabe, nunca mais retornou aos anéis de Saturno. Especula-se que ele tenha, no máximo, usado algumas idéias deste seu trabalho para começar seu estudo sobre a teoria cinética dos gases, formulada em 1866. Algum tempo depois, Maxwell foi desenvolver suas teorias sobre a eletricidade, o magnetismo e a teoria eletromagnética da luz, que ele havia começado a estudar em 1854 e que não parou até sua morte. Assim, Maxwell legou para a posteridade a solução definitiva de um problema que envolveu grandes gênios da História da Ciência: os anéis de Saturno.

11. CONCLUSÃO

A melhor conclusão para este trabalho o próprio tempo se encarregou de dar: a comprovação observacional de que Maxwell estava correto em sua previsão teórica. No final do século XIX, mais precisamente em 1895, os astrônomos norte-americanos James Keeler e William W. Campbell (1862 – 1938), ambos do Observatório Lick, através de observações espectroscópicas concluíram que a velocidade orbital dos anéis respeita as leis do movimento de Kepler. Isso significa que a parte interna dos anéis gira mais rápido que a externa, o que confirma a hipótese de Maxwell.

A prova derradeira, porém, só viria no século seguinte, com a passagem da sonda espacial Pioneer 11, que sobrevoou Saturno em setembro de 1979, mandando informações detalhadas e várias imagens do planeta e seu sistema de anéis. Nos anos seguintes, as sondas Voyager 1 (1980) e Voyager 2 (1981) também sobrevoaram Saturno e, assim como a anterior, contribuíram enormemente para um melhor conhecimento a respeito deste magnífico planeta. Neste curto espaço de tempo houve a confirmação da existência de novos anéis e também novas divisões neles.⁹³ Estas sondas permitiram um estudo minucioso a respeito da composição de todo o sistema de Saturno. Assim, a quantidade de informação existente hoje a respeito de Saturno é assombrosa se comparada à do tempo em que Maxwell terminou seu premiado artigo.

Além disso, é possível concluir a partir deste trabalho que, ao longo da história, o desenvolvimento de novas teorias e de novos instrumentos cada vez melhores teve um papel fundamental para todo o processo descrito neste projeto.

É fácil notar que, conforme novas idéias (e também novas observações) iam surgindo, novas soluções (certas ou não) para o problema dos anéis de Saturno também

⁹³ O número atual de anéis girando ao redor de Saturno é sete, dispostos em ordem de afastamento da seguinte maneira: D, C, B, A, F, G e E. Todavia, depois da passagem destas sondas, tornou-se claro também que estes anéis são, na verdade, uma espécie de conjunto de “argolas” ao redor de Saturno. Com relação às divisões, além das já citadas (Cassini e Encke), existem ainda as de Guérin (entre os anéis D e C), Maxwell (entre os anéis C e B), Huygens (uma lacuna dentro da divisão de Cassini), e Keeler (entre os anéis A e F).

apareciam. Por exemplo, Galileu incorporou a recém-criada teoria copernicana para explicar o que vira através de seu telescópio: o corpo triplo de Saturno. Huygens, como seguidor de Descartes, aplicou sua idéia de vórtice para sugerir a existência de um anel ao redor do planeta.

Mas, sem dúvida, a contribuição mais importante veio de alguém que não atuou diretamente no problema: Isaac Newton. Esta afirmativa se deve ao fato de Newton ter desenvolvido toda a mecânica clássica e a teoria da gravitação universal, que foram peças fundamentais para a solução de Maxwell, e antes disso foram usadas por Laplace, entre outros.

Da mesma forma, conforme os telescópios foram evoluindo, novas descobertas eram feitas, e idéias obsoletas eram derrubadas com base nestas novas observações. Para se ter uma noção do desenvolvimento destas ferramentas indispensáveis, é interessante citar algumas delas, a partir das quais estas descobertas foram possíveis.

Galileu usou lunetas que aumentavam entre 20 e 30 vezes o tamanho do que era visto através dela. Deve-se levar em conta ainda que a sua ótica estava longe de ser perfeita, o que acarretava problemas como a visualização de “orelhas” em Saturno. Já o equipamento usado por Huygens proporcionava um aumento de 50 vezes. Ele ainda revolucionou o método de polimento de lentes, o que tornava a ótica de sua luneta bastante superior a de Galileu.

Entretanto, quem primeiro contribuiu com excelentes observações de Saturno foi Herschel, que usava telescópios refletores de excelente qualidade para a época. Seus instrumentos tinham espelhos que chegaram a medir cerca de 1,2m. Não foi à toa que ele foi um dos que mais fez descobertas em relação a Saturno.

É importante relatar também que muitas das conclusões a respeito dos fatos narrados neste projeto, foram feitas ao mesmo tempo que eles eram descritos, com a finalidade de tornar menos trabalhosa a leitura. Assim, sempre que algum esclarecimento, conclusão, ou comentário se fazia necessário, ele era inserido no contexto imediatamente.

Para que isto funcionasse melhor, este trabalho foi escrito de forma a narrar os acontecimentos em ordem cronológica. São raríssimas as vezes em que este assunto foi abordado desta forma (mesmo porque este é um assunto muito pouco abordado). Assim, cada tema foi explorado, na medida do possível, dentro de seu tempo, para que todos os eventos relevantes tivessem sua introdução e conclusão na mesma linha de raciocínio.

Houve, portanto, ao longo deste trabalho, a oportunidade de acompanhar a escalada do homem rumo ao conhecimento. Esta jornada fica mais bela ao se constatar sua motivação primeira: o saber. A natureza dos anéis de Saturno não trouxe fama, fortuna ou comodidade aos que a investigaram. Mas todos os personagens deste estudo figuram na história como pioneiros da astronomia. De Galileu a Maxwell...

A. A MITOLOGIA DE SATURNO

Como foi possível notar ao longo dos primeiros capítulos deste trabalho, a mitologia (principalmente a romana), ainda no século XVII, exercia grande influência sobre os cientistas. Entre eles estavam Galileu e Kepler, que associavam fatos ou características referentes aos astros em questão com suas entidades correspondentes na mitologia.

A mitologia de Saturno (do latim, *Saturnus*), deus romano da prosperidade e protetor dos campos, se confunde bastante com a de uma outra divindade, o deus grego Cronos (do grego, *Kronos*). Curiosamente, o papel de cada um destes personagens era bem definido na narração de suas histórias, e ao que parece a confusão surgiu da tentativa de se relacionar ambos os deuses.

Seguindo uma ordenação cronológica a fim de explicar a mitologia greco-romana de Saturno, a primeira entidade a ser abordada deve ser Cronos, deus do tempo, que era filho de Ouranos (Urano)⁹⁴ e de Gaia (Terra).⁹⁵ De acordo com a mitologia grega, o caçula Cronos, juntamente com seus irmãos e irmãs, pertencia a um grupo denominado Titãs, que foram os progenitores de toda uma raça de deuses. Além deles, Ouranos e Gaia geraram ainda os Ciclopes, seres gigantes que tinham um único olho no centro da testa, e os Hecatônquiros, criaturas descomunais que tinham cinquenta cabeças e cem braços.

Conta a lenda que Ouranos enterrava seus filhos para que estes não contemplassem a luz. Gaia, descontente com a permanente fecundidade que seu marido lhe impunha e também com os maus tratos dele com sua prole, convenceu Cronos a

⁹⁴ Esta entidade representava o céu noturno em ambas as mitologias.

⁹⁵ Nesta abordagem, como a Mitologia Grega é o foco, os nomes entre parêntese referem-se às contrapartes das entidades gregas na Mitologia Romana. É importante ressaltar que não há uma padronização nas adaptações feitas da Mitologia Grega para a Romana. Os personagens da primeira tinham particularidades que nem sempre (ou quase nunca) eram convertidas quando a segunda os adotava. Sem dizer que cada autor, ao narrar a história de determinado mito, inseria ou editava informações, na intenção de incrementar ainda mais as lendas.

mutilar seu pai. Assim, ao cair da noite, quando Ouranos (o céu) refugiava-se nos braços de Gaia (a Terra), o deus do tempo castrou seu próprio pai com uma foice forjada por sua mãe, lançando seus testículos ao mar. Desde então, Cronos passou a reinar neste período que ficou conhecido como a Idade de Ouro, tomando como esposa sua própria irmã Réia (Cibeles),⁹⁶ deusa da fertilidade, das colheitas, e da prosperidade.

Certa vez, ao ser comunicado sobre uma profecia que dizia que ele seria deposto por um de seus filhos, Cronos, na tentativa de mudar o destino, passou a devorar sistematicamente todos aqueles que nasceram de sua união com Réia (Figura A1). Sua esposa, entretanto, se revoltou contra sua tirania e salvou Zeus (Júpiter), o último de seus filhos. Em seu lugar ela entregou a seu marido uma pedra envolta em mantos, para que este a devorasse ao invés da criança, que foi levada em segredo para a ilha de Creta, onde foi criada pelas ninfas e amamentada por uma cabra.



Figura A1 – Pintura de Francisco de Goya intitulada “Saturno”, exposta no Museu do Prado, em Madri.

⁹⁶ Segundo a coleção *Mitologia – Deuses e Heróis*, alguns “narradores dos mitos designavam a deusa com nomes que evocavam algumas das montanhas mais abruptas da região de Frígia e, em ocasiões, era conhecida com o nome de Tellus — vocábulo latino que significa ‘Terra’ —, ou também com o epíteto ‘Ops’, termo que significa ‘ajuda’ e ‘auxílio’”. Aqui, pode-se notar uma das várias confusões com relação a correspondência das entidades nas Mitologias Grega e Romana, pois Tellus é considerada por alguns autores como a entidade correspondente a Gaia, na Mitologia Romana.

Após escapar do cruel destino imposto por seu pai a seus irmãos, Zeus retornou crescido e ministrou uma poção a Cronos, que vomitou a pedra e todos os filhos que havia engolido. Com seus irmãos e irmãs resgatados, Zeus travou uma guerra contra os Titãs, que durou muitos anos. No final, sagrou-se vencedor e foi proclamado deus supremo. Ao ser destronado por seu filho, Cronos foi expulso do Olimpo.

Já a segunda deidade a ser abordada nesta ordem cronológica é o próprio Saturno, deus romano da agricultura, da fertilidade, e da prosperidade (Figura A2). Este mito conta a história de um antigo deus que reinou na Itália, em um período que ficou conhecido (também) como a Idade de Ouro. Em sua honra eram celebradas todos os anos as festas “saturnais”, que tinham duração de sete dias e correspondem aos primórdios do Natal. Isto porque, além de ocorrer nas proximidades do solstício de inverno (no hemisfério norte), nesta época as árvores verdes eram ornamentadas, familiares e amigos trocavam presentes, dívidas eram perdoadas, e doações de caridades eram feitas.



Figura A2 – Representação de Saturno, o deus romano da prosperidade. A foice é um de seus atributos, além da barba grisalha.

Como a idéia destas comemorações era mostrar que os bens da terra estavam ao alcance de todos, e que perante a natureza os homens eram iguais, durante este período os senhores serviam seus escravos, que eram temporariamente livres, além de ser proibido declarar guerra, ou executar criminosos. Contudo, quem desejasse tranqüilidade também era atendido em seu pedido e podia se isolar dos festejos, ficando recluso em casas distantes da cidade, longe das orgias, bebedeiras e todo o tipo de excesso.

O que a grande maioria dos autores especializados que escrevem sobre este assunto faz é relacionar cronologicamente (assim como foi feito aqui) os dois personagens mitológicos. Desta maneira, quando Cronos foi deposto por Zeus, ele teria se exilado na Itália e lá se tornado soberano. Curiosamente, os dois reinados desta entidade greco-romana foram identificados com o mesmo nome, a Idade de Ouro.

Uma boa justificativa para esta confusão era o fato de gregos e romanos realizarem festivais similares homenageando seus respectivos deuses, na época das colheitas. Os romanos tinham as já citadas festas “saturnais”, e os gregos celebravam as *kronias*, que apresentavam várias características semelhantes.

Outro motivo interessante para a confusão tem a ver com o símbolo que representa Saturno, que é a foice (Figura A3).⁹⁷ Como deus da agricultura, das colheitas, e das sementeiras, não espanta que este símbolo tenha sido usado para se referir, tanto ao personagem mitológico, quanto ao planeta homônimo. Já no caso de Cronos, esta foi a arma usada por ele para mutilar seu pai e tomar-lhe o trono, além de alguns autores relacionarem também esta ferramenta com um dos atributos do deus do tempo, talvez pelo fato de conferir um fim a tudo. A origem deste símbolo é incerta, e remete aos povos mencionados acima (mais provavelmente os romanos), sem que se possa afirmar quem foi a primeira pessoa a usá-lo para se referir ao planeta.

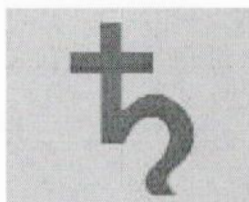


Figura A3 – A foice estilizada, símbolo usado para representar Saturno.

É importante ressaltar que este não é o único caso onde confusões deste tipo ocorrem,⁹⁸ e que os personagens mitológicos, tanto gregos, quanto romanos, não são sempre bem definidos. Isto se deve ao fato de eles serem compostos por vários mitos e tradições locais, que variam de lugar para lugar e mudam com o tempo. Este é, sem dúvida, o principal motivo desta relação confusa entre Saturno e Cronos.

⁹⁷ Alguns dos cientistas citados neste trabalho usavam este símbolo para se referir ao planeta Saturno em seus artigos.

⁹⁸ Só para citar um exemplo, o caso de Ares e Marte, entidades correspondentes nas mitologias grega e romana, respectivamente, também apresenta uma grande diferença em relação a suas histórias.

B. SATURNO NA ANTIGUIDADE

Desde o aparecimento da Humanidade sobre a Terra, o céu ocupa uma posição fundamental e privilegiada na evolução do conhecimento humano e do desenvolvimento da civilização. A astronomia é a mais antiga das ciências, e sua origem se confunde com a da própria civilização. Necessidades de ordem prática, como a de estabelecer um calendário ordenado, exigiam a observação do céu estrelado e é por isso que em todos os povos da Antiguidade já se encontram certos conhecimentos astronômicos. A partir destas observações os antigos começaram a notar a presença de astros que se deslocavam relativamente às estrelas, e estes foram chamados posteriormente pelos gregos de *planetes*, que em grego quer dizer “aqueles que vagam”. Em português estes astros errantes são chamados de planetas.

Seus movimentos irregulares entre as estrelas e a variedade de fenômenos permitiram que os astrólogos usassem estes “sinais dos deuses” para predizer o futuro. A partir de então, pela primeira vez na história, um grande número de dados sobre os planetas foi acumulado, e o conhecimento dos fatos sobre seus movimentos, entre outros, aumentou.

Nesta época, sete astros eram identificados como planetas: o Sol, a Lua, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Excetuando-se o Sol e a Lua, os outros planetas tiveram seus nomes extraídos do panteão romano,⁹⁹ porém estes nomes não foram dados ao acaso, mas sim, associando-se determinadas características destes astros no céu com as dos seus respectivos deuses. No caso particular de Saturno — deus romano da agricultura, que tinha como correspondente grego o deus do tempo Cronos —, seu nome vem do fato de ele ser o planeta mais lento dos sete. Isto fez com que tal astro lembrasse um deus idoso que tinha sobre seu poder o tempo.

⁹⁹ A civilização romana foi muito poderosa em um determinado período da História, o que fez com que a cultura européia aceitasse os nomes romanos para os planetas visíveis. Por uma questão de padrão, este critério se estendeu aos demais, quando estes foram descobertos.

Mas antes mesmo que os romanos associassem Saturno a Cronos, os povos da ancestral civilização mesopotâmica, os caldeus e os assírios, atribuíam àquele planeta certa influência não totalmente benéfica sobre a Terra.

Já as primeiras observações registradas deste planeta foram realizadas em meados do século VII AEC, quando os sacerdotes (que também eram astrólogos) assírios, comandados pelo rei Tiglat-Pileser III (c.754 – 727 AEC),¹⁰⁰ passaram a usar observações astronômicas para fazer ajustes em seus calendários, previsões do tempo, e até mesmo prever o futuro. Segundo Alexander, em seu livro *The Planet Saturn* (“O planeta Saturno”):

Tais notificações parecem ter sido especialmente numerosas, ou ao menos mais cuidadosamente preservadas, durante os reinados de Assarhadon (681 – 669 AEC) e de seu filho Assurbanipal (669 – 626 AEC).¹⁰¹

Assurbanipal foi o responsável por reunir antigas obras sumérias e babilônicas na Biblioteca Real de Nínive, então capital da Assíria. Estas obras eram escritas com símbolos convencionais feitos em tábuas de argila, batidos na forma de cunha. Este estilo, desenvolvido por volta de 2500 AEC na Suméria,¹⁰² ficou conhecido mais tarde como “escrita cuneiforme”, e foi adotada por vários impérios que se sucederam, sendo considerada a escrita universal por mais de um milênio.

Com a morte do rei Assurbanipal, em 626 AEC, uma sucessão quase ininterrupta de guerras fez cair o império assírio, e em 612 AEC, Nínive foi saqueada e destruída pelos exércitos invasores dos babilônios. Durante sua destruição, a Biblioteca Real foi incendiada. Porém, da sua vasta coleção, uma grande parte dos trabalhos resistiu ao fogo devido ao fato de terem sido escritos em tábuas de argila, o que tornou possível o conhecimento atual destes registros.

Há transcrições, transliterações e traduções destas obras, e a maior parte delas trata da Lua e de outros planetas mais brilhantes. Sobre Saturno restaram pouco mais de dez tábuas, sendo que as informações contidas nelas são relacionadas à guerra, agricultura, tempo, entre outras coisas mais. Destas observações primitivas dificilmente havia alguma puramente astronômica.

¹⁰⁰ Em 729 AEC, Tiglat-Pileser III proclamou-se também rei da Babilônia.

¹⁰¹ Essas datas se referem ao período do reinado de ambos, e não necessariamente aos anos em que nasceram e vieram a falecer.

¹⁰² Região localizada no sul da Mesopotâmia, onde as primeiras civilizações surgiram.

Alguns destes relatos estão traduzidos abaixo com os respectivos números que se referem à tábua onde este se encontra, e foram retirados do livro *The Planet Saturn*, de Alexander:¹⁰³

‘Saturno estava dentro do halo da lua.’ (Números 90, 98, 103, 180)

‘Ontem à noite um halo cercou a Lua; Saturno estava dentro dele perto da Lua.’
(Número 144)

‘Ontem à noite Saturno se aproximou da Lua. Saturno é a estrela do Sol.’
(Número 176)

‘Quando um planeta muda de cor ao lado da Lua e entra na Lua, leões morrerão e o tráfico local será impedido (ou) o gado será abatido. Saturno entrou na Lua...’ (Número 175)

‘Saturno não se aproximou de Vênus.’ (Número 67)

‘Marte deixou um intervalo de quatro (graus?) distante de Saturno; não se aproximou.’ (Número 88)

‘Quando um halo cerca a Lua e um planeta estava dentro dele, os ladrões se enfurecerão. Saturno estava dentro do halo da Lua... Quando Marte alcançar o caminho do Sol, haverá escassez de gado... Marte alcançou Saturno.’ (Número 103)

‘Saturno em frente de Regulus.’ (Número 180)¹⁰⁴

‘Saturno apareceu em Leão.’ (Número 216)

Como se pode notar, estas notificações são bastante imprecisas. O fato de Saturno estar dentro do *tarbatsu* (palavra usada pelos assírios que significa “pequeno halo”) da Lua não significava nada astronomicamente, posto que o raio do halo é de 22°, o que cobre uma grande área celeste. Além disso, partia-se do princípio que deveriam associar um determinado acontecimento celeste com algo que ocorria na Terra. Desta forma, quando o fenômeno no céu voltasse a se repetir, eles supunham que aconteceria novamente o mesmo evento na Terra, o que obviamente era falso.

Uma ambigüidade remota pode ter sido causada pelo uso da palavra *lubad* (“planeta”, no idioma assírio)¹⁰⁵ às vezes usado para se referir a Saturno, às vezes a

¹⁰³ Estes trechos foram citados por Alexander a partir do livro de A. Campbell Thompson intitulado *The Reports of the Magicians and Astrologers of Nineveh and Babylon in the British Museum* (“Os relatos dos magos e astrólogos de Nínive e da Babilônia no Museu Britânico”), de 1900.

¹⁰⁴ A estrela Regulus (*Alfa Leonis*) era chamada de *sharru* pelos assírios, que quer dizer “rei”.

¹⁰⁵ A seguinte definição pode ser encontrada na tábua número 112 dos assírios: “Os planetas são esses cujas estrelas passam em seu caminho sobre si mesmas”.

Mercúrio. Em seu livro, Alexander cita que *lubad* significa também “ovelha velha”, e o nome mais usado para se referir a Saturno nestes registros, *lubadsagush*, significa “a ovelha mais velha”, provavelmente pelo seu movimento mais lento entre as estrelas (referência ao tempo).

Ainda sobre estes registros, talvez o mais interessante deles seja o que menciona a ocultação de Saturno pela Lua, atentando para uma diminuição na intensidade do brilho do planeta conforme ele vai se aproximando do halo da Lua.

Os babilônios e os egípcios também notaram sua existência. De acordo com este último povo, os planetas eram “astros que nunca descansam”, e Saturno era identificado como “Horus, o Touro”.

Todavia, foi a partir dos gregos que os planetas, assim como toda a astronomia, passaram a ser estudados de forma sistemática. Vários foram os filósofos gregos que de alguma maneira descreveram Saturno. Um dos mais famosos, Platão (427 – 347 AEC), inclusive, atribuiu-lhe a cor amarela. Aproximadamente nesta mesma época, o astrônomo grego Eudoxo de Cnidos (408 – 355 AEC) idealizou um engenhoso sistema que ficou conhecido como “esferas homocêntricas”, que consistia em várias esferas concêntricas girando ao redor da Terra.¹⁰⁶

Já no século II EC, Cláudio Ptolomeu calculou os movimentos dos planetas com grande precisão. Para isso ele criou a teoria dos epiciclos.¹⁰⁷ Ptolomeu observou constantemente todos os planetas a fim de refinar cada vez mais seus dados, e não foi diferente com Saturno. Seus registros podem ser encontrados em sua principal obra intitulada *Syntaxis mathematica* (“Sintaxe matemática”, mais tarde conhecido como *Almagesto*).

Os cálculos de Ptolomeu vigoraram até o século XVI, quando Nicolau Copérnico concebeu sua teoria heliocêntrica, e Tycho Brahe realizou suas observações sistemáticas aumentando enormemente a precisão das medidas anteriores, tornando o estudo dos planetas (entre eles, obviamente, Saturno) realmente científico.

¹⁰⁶ Este sistema servia para explicar o movimento dos planetas, e pode ser considerado a primeira teoria geocêntrica, que mais tarde seria adotada e desenvolvida pelo grande filósofo grego Aristóteles de Estagira (383 – 322 AEC).

¹⁰⁷ Existem algumas dúvidas com relação a quem realmente lançou primeiro esta teoria. Alguns autores afirmam que o filósofo grego Heráclides do Ponto (388 – 315 AEC) deu origem à idéia quando propôs que Mercúrio e Vênus giravam ao redor do Sol, enquanto este girava ao redor da Terra. Assim, apesar de não ter formulado a teoria, sua sugestão pode tê-la germinado.

Vários nomes para Saturno	
Albanês	<i>Shtundi</i>
Alemão	<i>Saturn</i>
Árabe	<i>Zuhal</i> (“aquele que se retirou”) ou <i>ath-Thāqib</i>
Assírio	<i>Nisroch</i> (deus do tempo) ou <i>lubadsagush</i> (“a ovelha mais velha”)
Basco	<i>Saturnu</i>
Chinês	<i>T'u-hsing</i> (“estrela-terra”, no mandarim), e <i>T'ien-Sing</i> (“o planeta eterno”)
Cirílico	<i>Byamba</i> ou <i>Sancir</i>
Coreano	<i>T'osong</i> (“terra, solo”)
Egípcio	<i>Heru-ka-pet</i> (“estrela do oeste que atravessa o céu”; Horus) ou <i>Hor-Ka-Ker</i> (“a estrela geradora superior”)
Espanhol	<i>Saturno</i>
Francês	<i>Saturne</i>
Gaélico	<i>Saturn</i>
Galês	<i>Sadwrn</i>
Grego	<i>Phainon</i> (“luminoso”) ou <i>Kronos</i> (deus do tempo)
Hebraico	<i>Shabtha'i</i> ou <i>Kiwan</i>
Húngaro	<i>Szaturmuz</i>
Indú	<i>Samaistchara</i> (“que se move lentamente”)
Japonês	<i>Dosei</i> (“terra, solo”)
Latim	<i>Lucidus</i> , <i>Sāturnus</i> , <i>stella solis</i> , ou <i>Sāturni</i>
Mongol	<i>Bimba</i> (derivado do tibetano) ou <i>Sanicar</i> (derivado do sânscrito)
Persa	<i>Zahl</i>
Russo	<i>Satúrñ</i>
Sânscrito	<i>Sani</i> (“o que se move lentamente”), <i>Sauri</i> (“herói” ou “filho do Sol”), mais 26 nomes.
Sumério	<i>Lu-bat-sag-ush</i> (“profecia [planeta]-constante” ou “profecia-vagaroso-movimento”), ¹⁰⁸ <i>Genna</i> , <i>Sagus</i> , <i>Uduidim</i> , ou <i>Ninib</i> , ou ainda <i>Ninurta</i> (deus da guerra dos babilônios)
Tibetano	<i>Snenpa</i>
Turco	<i>Zuhal</i>
Vietnamês	<i>Tho-tinh</i> (“terra, solo”)

Tabela B1 – Os nomes que Saturno recebeu de várias culturas diferentes (suas pronúncias foram transliteradas para o alfabeto latino).

¹⁰⁸ É provável que os assírios tenham herdado dos sumérios o nome *lubadsagush*, e que também eles tenham adaptado este nome para sua língua e cultura, pois a escrita de ambos é muito semelhante.

C. A ORIGEM DO TELESCÓPIO

A importância do telescópio como um instrumento astronômico pode ser medida quando se analisa a Astronomia desde seu surgimento até os dias de hoje, pois esta normalmente é dividida em antes e depois do advento do telescópio. Isto deixa claro o papel revolucionário deste equipamento não só na história da Astronomia, como também na história da Ciência.

Por volta de 60 AEC, o célebre imperador romano Nero lançou moda ao fazer uso de discos de esmeraldas para observar as lutas de gladiadores. Não se sabe se através destas lentes¹⁰⁹ ele enxergava melhor, contudo, na intenção de imitá-lo, outros romanos passaram a ostentar discos de pedras preciosas em seus olhos. Mas, foi somente no século X, que o matemático e físico árabe Abu Ali al-Hasan (987 – 1038), também conhecido como Al-Hazen, em seu livro *Optics* (“Ótica”), atribuiu o efeito de aumento das lentes à curvatura de suas superfícies e não às propriedades das substâncias de que eram feitas.

Possivelmente, o primeiro cientista a sugerir que tal utensílio fosse usado para observar os astros tenha sido o frade franciscano inglês Roger Bacon (1210 – 1294), por volta de 1267, em seu tratado *Opus Majus* (“Obra maior”). Nele, Bacon afirmou que através de lentes, o Sol, a Lua, e as estrelas poderiam parecer mais próximos do observador. Ele é considerado por alguns autores como o precursor do telescópio, apesar de nunca ter desenvolvido tal instrumento.

Em 1571, o matemático e astrônomo inglês Thomas Digges (c.1546 – 1595), escreveu que seu pai, o geômetra inglês Leonard Digges (c.1520 – c.1559) — conhecedor do trabalho de Bacon —, havia proposto a combinação não só entre lentes, mas também com o uso de espelhos, o que o tornaria o precursor do telescópio refletor. Todavia, nenhum deles ousou montar tal aparato e, assim como Bacon ou qualquer

¹⁰⁹ Como estes pequenos discos eram muito semelhantes em forma à lentilha, eles foram chamados de “lentilhas de vidro” ou, em sua forma mais simplificada, de “lentes” (do latim, *lente*).

outro que tenha investigado esta questão neste período, não mencionaram sequer a necessidade de um tubo para sustentar as lentes.

Já entre os séculos XVI e XVII as coisas começaram a mudar graças ao italiano Giambattista della Porta (1535 – 1615) e a Johannes Kepler, que trataram da questão teórica. O primeiro examinou o curioso fenômeno das lentes na edição de 1589 de sua obra maior intitulada *Magia naturalis* (“Magia natural”), na qual ele chegou a descrever um telescópio. Em 1593, ele retornou novamente a este assunto em seu *De refractione* (“Quanto à refração”). Já Kepler publicou, em 1604, um importante tratado sobre os fenômenos da refração dando, pela primeira vez, a explicação exata das propriedades das lentes.

Apesar de toda esta introdução, a grande maioria dos autores especializados neste tema define a Holanda como o país de origem do telescópio, e o ano de 1608 como o de seu “nascimento”. O principal indicado ao posto de “pai do telescópio” é o fabricante de óculos alemão naturalizado holandês Hans Lipperhey (c.1570 – c.1619). Naquele ano, Lipperhey apresentou em Middelburg um pedido de patente para uma luneta¹¹⁰ construída por ele aos Estados Gerais da Holanda (Figura C1). Em seu pedido, Lipperhey informava que este instrumento ótico era capaz de fazer os objetos distantes parecerem próximos. Aparentemente, tal dispositivo foi oferecido como presente ao príncipe Maurício de Nassau pelo próprio Lipperhey, que visava lucros futuros com esta atitude.

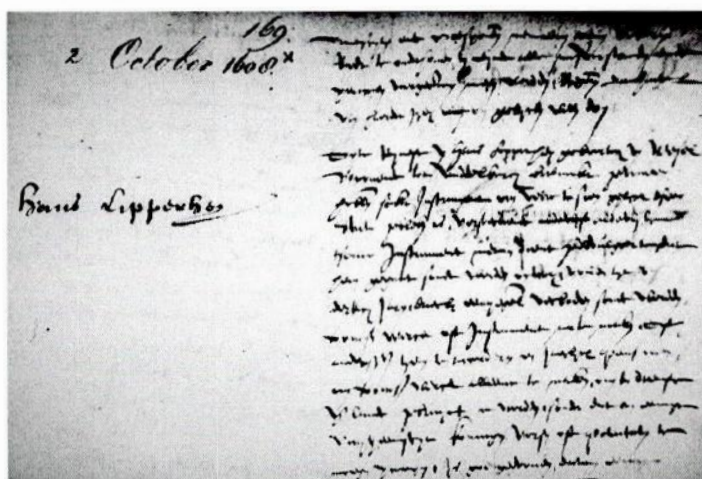


Figura C1 – Trecho do pedido de patente original feito por Hans Lipperhey datado de outubro de 1608.

¹¹⁰ A partir deste ponto o termo usado para se referir ao equipamento utilizado pelos cientistas para observação será “luneta”, até a inserção do termo “telescópio”, que será vista mais adiante. Em latim, o termo anterior a “telescópio” era *perspicillum*.

Enquanto isso, o também holandês Jacob Adriaanzoon (1580 – 1628), cujo nome latinizado era James Metius, proclamava ser o inventor de um instrumento ótico que também aumentava o tamanho dos objetos observados através dele, solicitando inclusive sua patente. Ele, porém, se recusava a mostrar sua luneta a qualquer pessoa, inclusive seu irmão, o geômetra Adrian Metius, pupilo de Tycho Brahe. Este seu comportamento não lhe deu muita credibilidade.

Outro holandês que clamou pela prioridade da invenção deste equipamento foi o ótico Zacharias Jansen (1580 – 1628). Ele já havia construído, juntamente com seu pai Hans Jansen, em 1590, o primeiro microscópio. Em 1604, Zacharias alegou ter construído uma luneta baseado em uma informação passada por seu pai, de que seu avô havia desenvolvido tal aparato em 1590. Segundo Hans, seu pai observou a Lua e as estrelas, porém, estas informações nunca foram confirmadas oficialmente.¹¹¹

Em 17 de setembro de 1607, o matemático e astrônomo inglês Thomas Harriot (1560 – 1621) observou um cometa, que mais tarde ficaria famoso como cometa Halley. Alguns autores informam que ele o fez com a ajuda de uma luneta, mas esta informação não é muito precisa. Entretanto, em 5 de agosto de 1609, Harriot observou a Lua utilizando uma luneta com um aumento de seis vezes construída por ele, e assim passou a mapeá-la. Este feito fez dele o primeiro cientista (que se tem documentação) a direcionar tal aparato para o céu.

Neste mesmo período, Giambattista della Porta reivindicou para si a autoria da luneta, baseado nas informações contidas em seu *De refractione*. Em uma carta escrita em agosto de 1609 ele até fez um esboço de tal dispositivo (Figura C2). Todavia, nada indica que della Porta tenha construído uma luneta antes de Galileu.

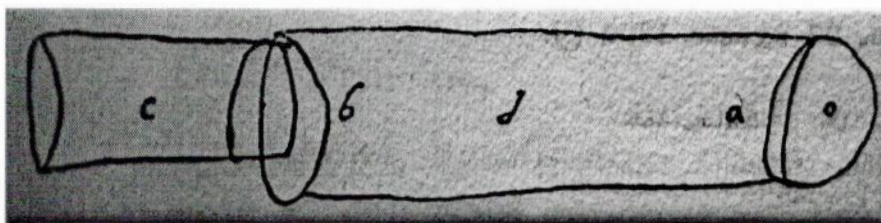


Figura C2 – Talvez o primeiro esboço feito de uma luneta, presente em uma carta de Giambattista della Porta escrita em agosto de 1609.

¹¹¹ É importante ressaltar que todos estes construtores de lunetas trabalharam completamente alheios a qualquer consideração teórica sobre este instrumento.

Galileu recebeu a notícia da existência deste curioso aparelho na primavera de 1609. Em Veneza, com seus amigos cientistas, ele discutiu entusiasticamente este rumor. Galileu logo percebeu que uma fortuna estava destinada a quem primeiro mostrasse tal instrumento ao estado veneziano. Assim, ele retornou a Pádua, e passou a trabalhar neste equipamento em sua oficina, mandando também confeccionar as peças que imaginou necessárias. Galileu baseou-se em seus instintos e nas escassas informações que tinha sobre estes dispositivos para desenvolver o seu. Seu ponto de partida foi um tubo de chumbo. Com uma combinação afortunada — objetiva côncava e ocular convexa — os objetos subitamente foram trazidos para três vezes mais perto e se tornaram nove vezes maiores (Figura C3).

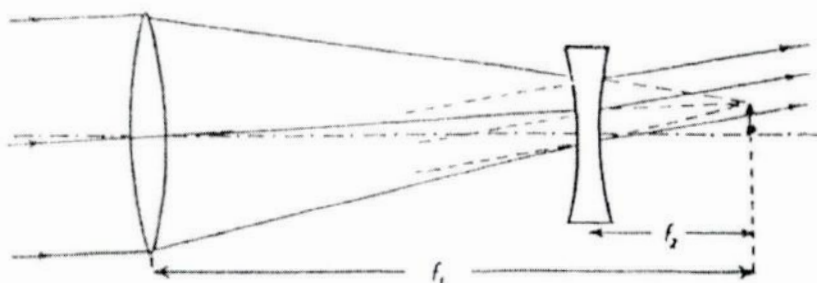


Figura C3 – Esquema da luneta de Galileu. Aqui se nota que a imagem produzida por tal instrumento não é invertida, graças à disposição e ao formato das lentes.

Em 20 de agosto de 1609, Galileu voltou a Veneza com sua melhor luneta. Seu comprimento era de pouco mais de um braço. Ele a apresentou ao Senado veneziano no dia 25 de agosto, suscitando verdadeiro entusiasmo entre os presentes. Inicialmente, houve um interesse prático, pois o primeiro vislumbre para a utilização deste aparato era para fins militares, e não científicos.

Já em 1610, com a qualidade de seus instrumentos ainda melhor (Figura C4), Galileu passou a direcionar sua luneta para o firmamento e, apesar de não ter sido o primeiro a fazê-lo, foi ele o primeiro a notar a enorme importância das coisas que viu e compreender que elas se inseriam perfeitamente na concepção copernicana, ao mesmo tempo em que se mostravam em nítido desacordo com a velha astronomia.¹¹²

¹¹² As observações realizadas por Galileu colocaram em cheque as afirmações aristotélicas. Segundo os seguidores desta escola, um corpo em movimento não podia ser o centro de outro movimento, e assim a existência de satélites em torno de Júpiter era filosoficamente absurda. Contudo, quando ele observou estes astros, supôs que o Universo deveria ter um centro em torno do qual ele giraria, o que derrubava as

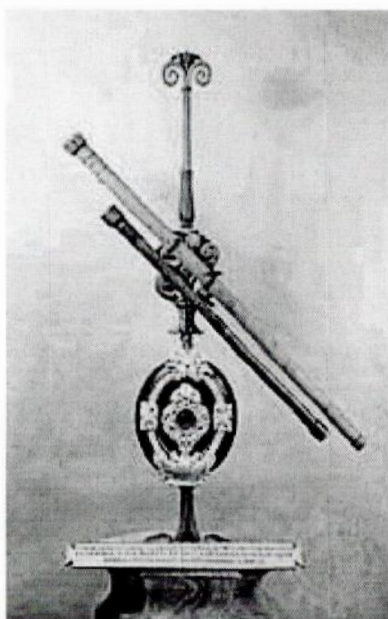


Figura C4 – Fotografia do telescópio construído por Galileu Galilei.

Curiosamente, somente em 14 de abril de 1611 o termo “telescópio” foi cunhado, pelo poeta e matemático grego Ioannes Demisiani, durante um banquete oferecido por Federico Cesi, o marquês de Monticelli (1585 – 1630) em homenagem a Galileu.

Cesi era um jovem muito rico e influente no mundo científico romano. Em 1603, fundou uma sociedade científica chamada *Accademia dei Lincei* (“Academia dos Linces”), contra a vontade de seu pai, o duque de Acquasparta.. A *Accademia dei Lincei* pode ser considerada a primeira academia científica autêntica da História.

Ao tomar conhecimento da chegada de Galileu a Roma, Cesi decidiu convidá-lo para ser membro de sua academia e optou por fazê-lo durante um banquete. E foi exatamente nesta ocasião que Demisiani sugeriu o nome *telescopio* (do grego: “aproxima o que está longe”) para o dispositivo óptico construído por Galileu.

Onze dias após este banquete, Galileu aceitou o convite de Cesi, passando assim a ser membro de sua academia. A partir de então, todas as suas obras subseqüentes passaram a ser assinadas com o seguinte nome: “Galileu Galilei, *Linceo*”.

idéias de Ptolomeu. Este último baseava-se em um modelo físico-matemático qualitativo, puramente descritivo, no qual dimensionava as cascas esféricas, fazia previsões bastante precisas para a época, e explicava o problema do movimento de retrogradação dos planetas — que representavam uma quebra na harmonia do Sistema Solar — usando os epiciclos.

D. O CORPO TRIPLO

Depois de ser relatada por Galileu e, posteriormente, por muitos outros observadores (como já foi visto neste trabalho), a aparência de corpo triplo atribuída a Saturno foi explicada corretamente por Christopher Wren, em seu *De Corpore Saturni* de 1658. Entretanto, até hoje, muitas pessoas que tomam conhecimento desta forma não têm noção de como ela poderia ser observada.



Figura D1 – Primeira ilustração de Saturno como um corpo triplo feita por Galileu, em 1610.

Para entender melhor esta visão de Galileu e seus sucessores é interessante recorrer ao texto escrito por Wren, no qual ele explica de maneira definitiva o problema:

...as partes *bc* e *bd* [da figura D2] juntam-se mais rapidamente do que deveria acontecer em *b*, e as partes ao redor de *b* parecem estar mais próximas do corpo [de Saturno], porque os espaços estreitos causados pela elipse extremamente excêntrica *bcd* são totalmente preenchidos pelas luzes vizinhas das cúspides; então as partes *c* e *d*, embora luminosas, escapam da visão devido a sua pequena espessura. Por essa razão, ao invés de aparecer em sua verdadeira forma cuspidada, Saturno é visto com seus braços destacados do seu corpo.

A aparência de corpo triplo era vista sempre próxima da aparência “solitária”, pois ela ocorria devido a pouca inclinação do plano do anel em relação ao observador na Terra, ou seja, quando o anel estava quase de perfil. Como a qualidade dos telescópios

utilizados para observar o planeta antes da década de 1650 era baixa, quando as regiões *bc* e *bd* ficavam muito estreitas sua identificação através destes instrumentos ficava prejudicada. Assim, somente a região à esquerda de *b* (na figura D2) seria notada ao lado do corpo central de Saturno. Além disso, o fato de os corpos laterais parecerem circulares pode ter sido causado por defeitos na ótica dos telescópios.

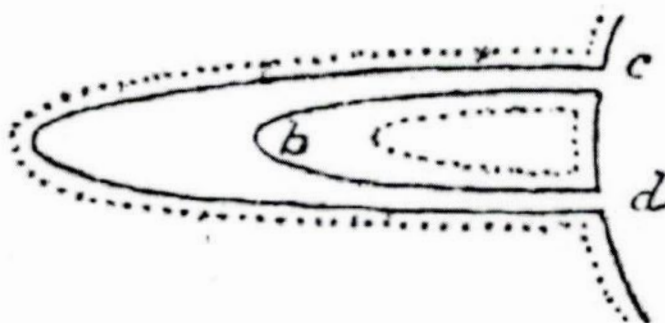


Figura D2 – Ilustração de Christopher Wren usada para explicar a aparência de corpo triplo.

O teste definitivo para justificar o argumento de Wren foi feito pela *Accademia del Cimento*, em 1660. Isto ocorreu quando seus membros construíram modelos baseados na hipótese anelar e convidaram leigos para observá-los. Como estas pessoas não tinham idéia da configuração real do modelo que estavam vendo através de telescópios inferiores, elas desenharam ao invés de um anel ao redor de uma esfera, um corpo triplo. Nas palavras do acadêmico Giovanni Borelli: “... a aparência que quase todos desenharam foi o disco de Saturno no meio de duas pequenas bolas redondas e separadas por uma sensível distância”.

E. A INTRODUÇÃO DE MAXWELL¹¹³

Existem algumas questões em Astronomia, para as quais somos atraídos mais por sua peculiaridade, como o possível exemplo de algum princípio desconhecido, do que por qualquer vantagem direta que sua solução traria para a humanidade. A teoria das desigualdades da Lua, ainda que em seus primeiros estágios apresente teoremas interessantes a todos os estudantes de mecânica, alcançou cálculos tão intrincados que só podem ser acompanhados por aqueles que fazem da melhoria das Tabelas Lunares seu objetivo de vida. O valor do trabalho destes homens é reconhecido por todos que têm consciência da importância de tais tabelas na Astronomia Prática e na Navegação. Os métodos pelos quais os resultados são obtidos são reconhecidos como sólidos, e deixamos aos astrônomos profissionais o trabalho e o mérito de os terem desenvolvido.

As questões sugeridas pela aparência dos anéis de Saturno não podem, no estado atual da Astronomia, demandar trabalho equivalentemente árduo da parte dos matemáticos. Não estou ciente de nenhum uso prático para os anéis de Saturno, tanto em Astronomia quanto em Navegação. Eles estão muito distantes, e têm massa muito insignificante, para produzir qualquer efeito apreciável em outras partes do Sistema Solar; e por essa mesma razão é difícil determinar aqueles elementos do movimento que obtemos tão acuradamente no caso de corpos de maior importância mecânica.

Mas quando contemplamos os anéis de um ponto de vista puramente científico, eles se tornam os corpos mais interessantes dos céus, com a exceção, talvez, daqueles corpos ainda menos úteis — as nebulosas espirais.¹¹⁴ Depois de vislumbrar aquele grande arco curvado sobre o equador do planeta sem nenhuma conexão visível, é

¹¹³ TEXTO TRANSCRITO DO ARTIGO ORIGINAL DE JAMES C. MAXWELL, DE 1859, PUBLICADO EM *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, W.D. Niven (ed.). New York: Dover, 1965, v. 1, p. 290-296.

¹¹⁴ Estas “nebulosas espirais” a que Maxwell se refere nada mais são do que galáxias. Naquele tempo, porém, não existiam muitas informações a respeito destes objetos, que já eram conhecidos, mas só começaram a ser tratados da maneira correta no começo do século XX.

impossível descansar a mente. Não podemos simplesmente admitir que as coisas são assim, e descrevê-lo como um dos fatos observados da natureza, que não admitem ou requerem explicação. Devemos ou descrever seu movimento baseado nos princípios da mecânica, ou admitir que, nas vizinhanças de Saturno, pode existir movimento regido por leis que somos incapazes de explicar.

A distribuição dos anéis está representada na Figura 1 [Figura E1] na escala de uma polegada para cem mil milhas. *S* é a seção-reta de Saturno no seu equador, *A*, *B* e *C* são os três anéis. *A* e *B* são conhecidos há 200 anos. Eles foram tomados, erradamente, por Galileu como sendo protuberâncias do próprio planeta, ou talvez satélites. Huygens descobriu que o que víamos era um fino anel plano que não tocava o planeta, e Ball descobriu a divisão entre *A* e *B*.¹¹⁵ Outras divisões foram observadas dividindo os anéis em mais anéis concêntricos, mas essas não permaneceram visíveis, sendo a única divisão bem estabelecida a que se encontra no meio de *A* [divisão de Encke]. O terceiro anel foi detectado pelo Sr. Bond, em Cambridge, EUA [Harvard], em 15 de novembro de 1850; o Sr. Dawes, sem saber da descoberta do Sr. Bond, observou-o em 29 de novembro, e o Sr. Lassell alguns dias depois. Ele emite pouca luz se comparado com os outros anéis, e é visto onde cruza o planeta como um obscuro cinturão, mas é tão transparente que o limbo do planeta é visível através dele, e sem distorção, mostrando que os raios de luz não passaram por uma substância transparente, mas entre as partículas espalhadas de uma corrente descontínua.

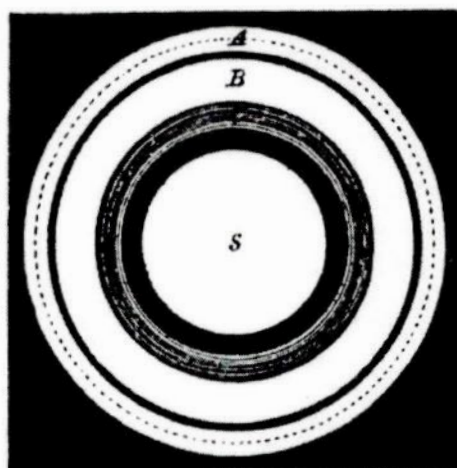


Figura E1 – Reprodução da figura contida no artigo original de J.C. Maxwell. Sua escala não foi preservada nesta reprodução!

¹¹⁵ Aqui é possível notar que Maxwell foi um dos cientistas, residentes na Inglaterra, influenciado pela idéia errônea de que a descoberta da divisão entre os anéis A e B havia sido feita por William Ball. Como foi visto no capítulo 8, Giovanni D. Cassini foi o verdadeiro autor desta façanha.

É difícil estimar a espessura do sistema; de acordo com as melhores estimativas ela não é maior do que 100 milhas, o diâmetro de A sendo 176.418 milhas; de modo que na escala de nossa figura a espessura seria de um milésimo de uma polegada.

Esta é a escala na qual este magnífico sistema de anéis concêntricos é construído; agora temos que dar conta de sua existência continuada, e reconciliá-la às conhecidas leis de movimento e gravitação, de tal modo que ao rejeitarmos todas as hipóteses que levam a conclusões em desacordo com os fatos, possamos aprender mais sobre a natureza destes corpos distantes que os telescópios ainda não podem nos dizer. Devemos dar conta de que os anéis permanecem suspensos sobre o planeta, concêntricos a Saturno e no seu plano equatorial; da forma achatada da seção-reta de cada anel, da transparência do anel interno, e da aproximação gradual de sua borda interna com Saturno como foi deduzida a partir dos registros observados pelo Sr. Otto Struvé (*Sur les dimensions des Anneaux de Saturne — Recueil de Mémoires Astronomiques*, Poulkowa, 15 de novembro de 1851). Para uma descrição da aparência geral dos anéis vistos do próprio planeta, veja Lardner na *Uranography of Saturn, Mem. Of the Astronomical Society*, 1853. Veja também o artigo “Saturn” na *Cyclopaedia of the Physical Sciences*, de Nichol.¹¹⁶

Nossa curiosidade a respeito dessas questões é estimulada, em vez de satisfeita, pelas investigações de Laplace. Aquele grande matemático, apesar de ocupado com muitas questões que mais imperiosamente demandavam sua atenção, dedicou muitos capítulos em várias partes de seu grande trabalho, a pontos ligados ao Sistema de Saturno.

Ele investigou a lei de atração de um anel com seção-reta pequena em um ponto próximo a ele (*Méc.Cél.* Liv. III, capítulo VI), e disso ele deduz a equação da qual a razão entre a largura e a espessura de cada anel pode ser encontrada,

$$e = \frac{R^3}{3\alpha^3} \frac{\rho}{\rho'} = \frac{\lambda(\lambda-1)}{(\lambda+1)(3\lambda^2+1)},$$

onde R é o raio de Saturno, e ρ sua densidade; α é o raio do anel, e ρ' sua densidade; e λ é a razão da largura do anel por sua espessura. A equação para determinar λ quando e é

¹¹⁶ O escritor científico irlandês Dionysius Lardner (1793 – 1859), e o professor de astronomia escocês John Pringle Nichol (1804 – 1859).

dado tem uma raiz negativa que deve ser rejeitada, e duas raízes que são positivas quando $e < 0,0543$, e é impossível quando e é maior do que isso. No valor crítico de e , $\lambda = 2,594$, aproximadamente.

O fato de que λ é impossível quando e está acima deste valor mostra que o anel não pode se manter coeso se a razão entre a densidade do planeta e a do anel exceder um certo valor. Este valor foi estimado por Laplace como 1,3, presumindo $\alpha = 2R$.

Podemos facilmente seguir a interpretação deste resultado, se observarmos que as forças que agem no anel podem ser reduzidas a:

- (1) A atração de Saturno, variando com o inverso do quadrado da distância ao seu centro.
- (2) A força centrífuga das partículas do anel, agindo em direção oposta, e variando diretamente com a distância ao eixo polar de Saturno.
- (3) A atração do próprio anel, dependendo de sua forma e densidade, e direcionada, aproximadamente, ao centro de sua seção-reta.

A primeira dessas forças deve equilibrar a segunda em algum lugar próximo da distância média do anel ao planeta. Além dessa distância, a resultante será direcionada para fora [para o espaço], aquém dela a resultante será direcionada para dentro [para o planeta].

Se a atração do próprio anel não for suficiente para equilibrar estas forças residuais, as porções externa e interna do anel tenderão a se separar, e o anel se quebrará; e parece, do resultado de Laplace, que isso acontecerá se a densidade do anel for menor que 10/13 da do planeta.

Esta condição se aplica a qualquer anel, quer largo ou fino, cujas partes sejam separáveis, e cujas partes externa e interna girem com mesma velocidade angular.

Laplace mostrou também (Liv. V, cap. III), que devido à forma oblata de Saturno, os planos dos anéis seguirão o do equador de Saturno em todas as mudanças de sua posição devidas às perturbações de outros corpos celestes.

Além disso, ele prova com distinção (Liv. III, cap. VI), que um anel sólido e uniforme não pode girar ao redor de um corpo central de forma permanente, pois o menor deslocamento do centro do anel em relação ao centro do planeta daria origem a um movimento que nunca poderia ser previsto, e inevitavelmente acarretaria a queda do anel em direção ao planeta, não necessariamente quebrando o anel, mas com sua parte interna caindo no equador do planeta.

A partir disso ele infere que os anéis são sólidos irregulares, cujos centros de gravidade não coincidem com seus centros geométricos. Podemos descrever esta conclusão mais formalmente, como segue: “se os anéis fossem sólidos e uniformes, seus movimentos seriam instáveis, e eles seriam destruídos. Mas eles não são destruídos, e o movimento é estável; portanto eles ou não são uniformes ou não são sólidos”.

Eu não descobri* tanto nos trabalhos de Laplace quanto nos trabalhos de matemáticos mais recentes qualquer investigação a respeito do movimento de um anel não-uniforme ou não-sólido. Assim, no estado atual da ciência mecânica, não sabemos se um anel sólido irregular, ou um anel fluido ou descontínuo, pode girar permanentemente ao redor de um corpo central; e o sistema de Saturno continua sendo uma testemunha não considerada nos céus de um necessário, ainda que desconhecido, desenvolvimento das leis do universo.

Sabemos, desde que foi demonstrado por Laplace, que um anel sólido e uniforme não pode girar permanentemente ao redor de um planeta. Nós propomos, neste ensaio, determinar a quantidade e a natureza da irregularidade que seria necessária para tornar uma rotação permanente possível. Nós vamos descobrir que a estabilidade do movimento do anel seria assegurada pela presença, em um ponto do anel, de um satélite pesado com aproximadamente 4,5 vezes o peso do anel, mas a presença deste satélite, além de ser inconsistente com as aparições observadas dos anéis, deveria ser muito artificialmente ajustada para concordar com os arranjos naturais observados em outras partes, pois um erro muito pequeno em excesso ou falta tornaria o anel mais uma vez instável.

* Desde que isso foi escrito, Prof. Challis me indicou três importantes artigos no *Astronomical Journal* de Gould: *On the Rings of Saturn*, do Sr. G. P. Bond (maio, 1851) e *On the Constitution of Saturn's Rings*, (junho, 1851), e *On the Adams' Prize Problem for 1856* (setembro, 1855) do Prof. B. Peirce da Universidade de Harvard. Estes matemáticos americanos consideraram ambos as condições para o equilíbrio estático de uma seção transversal de um anel, e chegaram à conclusão que os anéis, se se movem cada um como um todo, devem ser muito mais estreitos do que os anéis observados, de modo que na realidade deve haver um número grande de anéis, cada um girando com uma velocidade própria. Eles também abordaram a questão da fluidez dos anéis, e o Prof. Pierce conduziu uma investigação sobre a constância do movimento de um anel irregular sólido e de um anel fluido. O artigo em que esses aspectos são tratados ainda não foi publicado (até onde eu saiba), e as referências a ele no *Journal* de Gould têm a intenção de fornecer mais um relato popular dos resultados que um guia acurado dos métodos empregados. No tratamento da atração de um anel irregular, ele faz uso admirável da teoria dos potenciais, mas sua investigação já publicada do movimento de tal corpo contém alguns descuidos que se devem talvez às imperfeições da linguagem popular e não a algum problema na teoria matemática. A única parte da teoria de um anel fluido que foi tratada por ele é a qual ele considera a forma do anel, em um instante qualquer, como uma elipse; que corresponde ao caso $n = \omega$, e $m = 1$. Como tive apenas um tempo limitado para ler estes artigos, e como não pude me certificar dos métodos usados nas investigações originais, eu não posso, no presente momento, dizer o quanto os resultados deste trabalho atual concordam com ou discordam dos resultados obtidos pelo Prof. Peirce.

Estamos então limitados a abandonar a teoria de um anel sólido, e a considerar o caso de um anel cujas partes não são conectadas rigidamente, como no caso de um anel de satélites independentes, ou um anel fluido.

Agora não há perigo de todo o anel ou qualquer parte sua se precipitar sobre o planeta. Cada partícula do anel deve agora ser considerada como um satélite de Saturno, perturbado pela atração de um anel de satélites à mesma distância média do planeta, cada um sujeito a pequenos deslocamentos. A ação mútua das partes do anel será tão pequena se comparada à atração do planeta, que nenhuma parte do anel pode parar de se mover como um satélite ao redor de Saturno.

Mas a questão que agora se apresenta é totalmente diferente daquela a respeito do anel sólido. Nós agora devemos dar conta das variações de forma e distribuição das partes do anel, assim como de seu movimento como um todo, e até o momento não temos nenhuma certeza de que essas variações não se acumularão até que o anel perca por completo sua forma original e colapse, formando um ou mais satélites girando ao redor de Saturno. De fato, tal resultado é uma das doutrinas principais da “teoria nebular” da formação de sistemas planetários: e estamos familiarizados com a fragmentação real de anéis fluidos sob a ação de forças “capilares”, nos belos experimentos do Sr. Plateau.¹¹⁷

Neste ensaio, mostrei que tal tendência destrutiva realmente existe, mas que graças ao movimento de revolução do anel é convertida na condição de estabilidade dinâmica. Como o interesse científico a respeito dos anéis de Saturno depende no presente da questão sobre sua estabilidade, eu considerei seus movimentos mais como um exemplo de princípios gerais e menos como objeto de um elaborado cálculo, e portanto eu me restringi àquelas partes do tema pertinentes à questão da constância de uma dada forma de movimento.

Existe um problema muito geral e muito importante em Dinâmica, a solução do qual conteria todos os resultados deste ensaio e muito mais. É o seguinte:

“Tendo encontrado uma solução particular das equações de movimento de qualquer sistema material, determinar se uma pequena perturbação no movimento

¹¹⁷ O físico belga Joseph Antoine Plateau (1801 – 1883), realizou experimentos que comprovaram a viabilidade de formas anelares na natureza. Mergulhando azeite em uma composição de água e álcool, Plateau introduziu uma rotação ao sistema e mostrou que o esferóide original formado pelo azeite se transformava em um anel. Ele argumentou que isso ocorria devido às forças capilares (a tensão superficial), e estendeu esse problema aos céus, introduzindo uma força de coesão análoga à tensão superficial devida ao resfriamento da nuvem original. Plateau argumentava que poderia haver um sistema anelar anterior ao próprio planeta Saturno.

indicado pela solução causaria uma pequena variação periódica, ou um desgoverno geral no movimento.”

A questão pode ser formulada de modo a depender das condições de um máximo ou de um mínimo de uma função de muitas variáveis, mas a teoria dos testes para distinguir máximos de mínimos pelo Cálculo das Variações se torna tão intrincada quando aplicada a funções de muitas variáveis, que acho duvidoso saber qual problema será resolvido primeiro, o físico ou o abstrato.

F. A CONCLUSÃO DE MAXWELL¹¹⁸

Vamos agora reunir as conclusões que fomos capazes de tirar da teoria matemática de vários tipos de anéis concebíveis.

Descobrimos que a estabilidade do movimento de um anel sólido dependia de tão delicado ajuste, e ao mesmo tempo de uma distribuição de massa tão assimétrica, que mesmo que a condição exata fosse preenchida, o anel não poderia durar muito, e se durasse, a imensa preponderância de um lado do anel seria facilmente observada, ao contrário do que ocorre. Estas considerações, com outras derivadas da estrutura mecânica de tão vasto corpo, nos compele a abandonar a teoria de um anel sólido.

Em seguida, examinamos o movimento de um anel de satélites idênticos, e descobrimos que se a massa do planeta for suficiente, qualquer perturbação produzida na disposição do anel se propagará ao seu redor na forma de ondas, e não introduzirá uma confusão perigosa. Se os satélites forem desiguais, a propagação das ondas não será mais regular, mas as perturbações do anel serão neste caso, como no caso anterior, apenas ondas, e não uma confusão crescente. Supondo que o anel consiste não de uma única fileira de grandes satélites, mas de uma nuvem de partículas desconexas homogeneamente distribuídas, descobrimos que tal nuvem deve ter uma densidade muito pequena para que seja permanente, e que isso não é consistente com o fato de suas bordas externa e interna se moverem com a mesma velocidade angular. Supondo o anel fluido e contínuo, descobrimos que ele necessariamente se quebrará em pequenas partes.

Concluimos, portanto, que os anéis devem ser compostos por partículas desconexas; estas podem ser líquidas ou sólidas, mas têm que ser independentes. O sistema completo de anéis deve, portanto, ser formado ou por uma série de vários anéis concêntricos, cada um se movendo com sua velocidade própria, e tendo seu próprio

¹¹⁸ Texto traduzido do artigo original de James C. Maxwell, de 1859, publicado em *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, W.D. Niven (ed.). New York: Dover, 1965, v. 1, p. 372-374.

sistema de ondas, ou então uma confusa multidão de partículas em órbita, não organizadas em anéis, e continuamente se chocando umas com as outras.

Tomando o primeiro caso, descobrimos que em um número indefinido de casos possíveis a perturbação mútua de dois anéis, estáveis neles mesmos, pode se somar com o tempo para produzir uma perturbação destrutiva, e que tais casos devem ocorrer continuamente em um sistema extenso como o de Saturno, a única causa retardadora sendo a possível irregularidade dos anéis.

O resultado das perturbações de longa duração é o alargamento dos anéis, os anéis externos se movendo para o exterior, e os anéis internos para o interior.

O resultado final, portanto, da teoria mecânica é que o único sistema de anéis que pode existir é aquele composto por um número indefinido de partículas desconexas, orbitando ao redor do planeta com diferentes velocidades de acordo com suas respectivas distâncias. Estas partículas podem ser organizadas em uma série de anéis estreitos, ou elas se movem entre elas mesmas de forma irregular. No primeiro caso, a destruição do sistema será muito lenta, no segundo caso será mais rápida, mas pode haver uma tendência ao equilíbrio em anéis estreitos, que pode retardar o processo.

Não podemos determinar através de observações a constituição das duas divisões exteriores do sistema de anéis, mas o anel interior é certamente transparente, pois o limbo de Saturno já foi observado através dele. Também é certo que, apesar do espaço ocupado pelo anel ser transparente, não é através de suas partes materiais que Saturno foi visto, pois seu limbo foi observado sem distorção; o que mostra que não houve refração, e portanto que os raios não passaram por um meio, e sim por entre as partículas sólidas ou líquidas que compõem o anel. Aqui, então, temos um argumento ótico a favor da teoria das partículas independentes como o material dos anéis. Os dois anéis exteriores podem ser da mesma natureza, mas não tão rarefeitos a ponto de que um raio de luz possa passar por toda sua espessura sem encontrar nenhuma partícula.

Finalmente, os dois anéis externos foram observados por 200 anos, e parece, das cuidadosas análises de todas as observações do Sr. Struvé, que o segundo anel está mais largo do que quando primeiramente observado, e que sua borda interna está mais próxima do planeta do que antigamente. Há suspeitas de que o anel interno também está se aproximando do planeta desde sua descoberta em 1850.¹¹⁹ Isto parece indicar o

¹¹⁹ É praticamente impossível se confirmar estas afirmações já que naquele tempo essas medidas não eram muito precisas para se comparar com as atuais. Além disso, o poder de aumento dos telescópios usados era bastante reduzido se comparado aos de hoje.

mesmo progresso lento dos anéis rumo à separação que encontramos na teoria, e o fato que a borda interna do anel interior é muito distinguível parece indicar que a aproximação rumo ao planeta é mais lenta próximo à borda, como tínhamos razão para conjecturar. Quanto à aparente imutabilidade do diâmetro exterior do anel externo, devemos nos lembrar que os anéis externos são certamente mais densos que o anel interno, e que uma pequena variação nos anéis externos deve contrabalançar uma grande variação do anel interno. É possível, no entanto, que algumas das mudanças observadas sejam devidas à existência de um meio de resistência. Se as alterações já suspeitadas se confirmarem por repetidas observações com os mesmos instrumentos, valerá a pena investigar se os anéis de Saturno são elementos permanentes ou transitórios no Sistema Solar, e se naquela parte do céu vemos uma imutabilidade celestial ou a corrupção terrestre, a velha ordem dando lugar à nova perante nossos próprios olhos.

G. GLOSSÁRIO

Deferente – No sistema geocêntrico de Ptolomeu, órbita circular, com a Terra fixa em seu centro, ao longo da qual um planeta fictício realiza uma revolução aparente, enquanto que o planeta real revoluciona em outra órbita (epiciclo), também circular, centrada sobre o planeta fictício.

Efeito de maré – Modo pelo qual a gravidade de um corpo atua diferentemente em diversas partes de um outro corpo, podendo inclusive destruí-lo.

Epiciclo – No sistema geocêntrico de Ptolomeu, o círculo imaginário que cada planeta descrevia em torno do deferente enquanto este girava em torno da Terra.

Halo – Anel luminoso que aparece ao redor do Sol ou da Lua, causado pela refração que a luz em cristais de gelo situados na alta atmosfera terrestre. O raio deste anel é de 22°.

Limbo – Contorno luminoso do perfil de um astro.

Micrômetro – Instrumento para medida de comprimentos ou de ângulos muito pequenos, baseado em dispositivos mecânicos ou em sistemas óticos.

Movimento retrógrado – Movimento realizado no mesmo sentido do das estrelas no céu noturno (de leste para oeste), porém contrário ao mais comum realizado pelos planetas, denominado movimento direto (de oeste para leste).

Vórtice cartesiano – Segundo René Descartes, cada planeta era o centro de seu próprio vórtice de matéria. Já de acordo com o Dicionário Aurélio, vórtice é sinônimo de

redemoinho, o que permite concluir que a idéia de Descartes era a de que os planetas deveriam ser o centro de um redemoinho, no qual giravam ao seu redor outros corpos menores (satélites).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABETTI, G. *The History of Astronomy*. London: Sidgwick and Jackson, 1954.
- ADAMS, J.C. "Note on William Ball's Observations of Saturn". *The Scientific Papers of John Couch Adams* (W.G. Adams, ed.). Cambridge: Cambridge University Press, 1896, v. I, p. 279-285.
- ALEXANDER, A.F.O'D. *The Planet Saturn: a History of Observation, Theory and Discovery*. New York: Dover, 1980.
- ALEXANDER, S. "On the Origin of the Forms and the Present Condition of Some of the Clusters of Stars and Several of the Nebulae". In: *The Astronomical Journal* 2. Cambridge: NASA Astrophysics Data System, 1852, p. 113-115.
- ALFVÉN, H. e ARRHENIUS, G. *Evolution of the Solar System*. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, 1976, p. 307-314.
- ARMITAGE, A. "William Ball F.R.S. (1627 – 1690)". In: *Notes and Records of the Royal Society of London* 15, 1960, p. 167-172.
- ASIMOV, I. *Saturno*. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1981.
- BALL, W. "Correspondance N^o 1503 – W. Ball à R. Moray – 23 octobre 1665". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1890, v. V, p. 543-544.

- BASSALO, J.M.F. *Nascimentos da Física (3500 a.C. – 1900 a.D.)*. Belém: UDUFPA, 1996.
- BESSY, B.F. de. “Correspondance N^o 894 – [B. Frenicle de Bessy] à [K. Digby] – 31 août 1661”. In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1890, v. III p. 337-339.
- “Correspondance N^o 901 – B. Frenicle de Bessy à Christiaan Huygens – 26 août 1661”. In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1890, v. III, p. 349-354.
- BOND, G.P. “On the Rings of Saturn”. In: *The Astronomical Journal* 2. Cambridge: NASA Astrophysics Data System, 1851, p. 5-10.
- BOND, G.P. “Appearance of the Ring of Saturn, 1851”. In: *The Astronomical Journal* 2. Cambridge: NASA Astrophysics Data System, 1851, p. 112.
- BOND, W.C. “On the New Ring of Saturn”. In: *The Astronomical Journal* 2. Cambridge: NASA Astrophysics Data System, 1851, p. 5.
- BOND, W.C. “Discovery of a New Satellite of Saturn”. In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 9. London: NASA Astrophysics Data System, 1848, p. 1-2.
- BORELLI, A. “Correspondance N^o 796 – [A. Borelli] à Leopoldo de Medicis”. In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1890, v. III, p. 152-158.
- BRUSH, S.G., EVERITT, C.W.F. e GARBER, E. (eds.). *Maxwell on Saturn's Rings*. London: MIT Press, 1983.
- BULFINCH, T. *O Livro de Ouro da Mitologia*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002.

- BURNS, J.A. "Planetary Rings". In: *The New Solar System* (J.K. Beatty e A. Chaikin, eds.), 153-170. Cambridge: Cambridge University Press & Sky Publishing Corporation, 1990.
- CAMPANI, G. "Correspondance N^o 1304 – M. Campani à Christiaan Huygens – 2 décembre 1664". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1890, v. V, p. 193-195.
- CHAPELAIN, J. "Correspondance N^o 725 – J. Chapelain à [Christiaan Huygens] – 4 mars 1660". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1890, v. III, p. 34-37.
- CHERMAN, A. *Sobre os Ombros de Gigantes*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2004.
- DAWES, W.R. "Dawes, on Dr. Galle's Observations". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 11. London: NASA Astrophysics Data System, 1851, p. 184-187.
- DAWES, W.R. "On the Planet Saturn and his Rings". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 12. London: NASA Astrophysics Data System, 1851, p. 11-13.
- DAWES, W.R. "Note on the Dark Ring of Saturn". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 12. London: NASA Astrophysics Data System, 1851, p. 156.
- DELERUE, A. *Nossos Planetas*. Rio de Janeiro: Bloch, 1993.
- DIVINI, E. "Brevis Annotatio in Systema Saturnium Christiani Eugenio". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1925, v. XV, p. 403-437.
- DRAKE, S. *Galileo at Work, His Scientific Biography*. Chicago: University of Chicago Press, 1981.

- FLETCHER, I. "Notice of Saturn and his Rings". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 12. London: NASA Astrophysics Data System, 1851, p. 13-14.
- GALILEU, G. *Le Opere di Galileo Galilei* (A. Favaro, ed.), v. I-XX. Firenze: G. Barbera, 1890-1909.
- , *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems Ptolemaic & Copernican* (tradução de S. Drake). Berkeley: University of California Press, 1967.
- GASSENDI, P. *Opera Omnia*, v. IV. Lyon: [s.n.], 1658.
- GOÑI, J. (ed.). "Saturno — Deus da Prosperidade e Protetor dos Campos". In: *Mitologia – Deuses e Heróis*, v. XXV. Rio de Janeiro: F&G Editores, 2002.
- GREENBERG, R.J. e BRAHIC, A. "Planetary Rings: a Dynamic, Evolving Subject". In: *Planetary Rings* (R.J. Greenberg e A. Brahic, eds.). Tucson: University of Arizona Press, 1984, p. 3-11.
- GROSSER, M. "Adams, John Couch". In: *Dictionary of Scientific Biography*. New York: Scribner, 1970, v. I, p. 53-54.
- GILLISPIE, C. C. "Maxwell, James Clerk". In: *Dictionary of Scientific Biography*. New York: Scribner, 1974, v. IX, p. 202-204.
- HARDING, K.L. "On the Space between Saturn and his Ring". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 1. London: NASA Astrophysics Data System, 1828, p. 74-76.
- HERSCHEL, J.F.W. *Outlines of Astronomy*. London: Longman, Brown, Green, and Longmans, 1851.
- HIND, J.R. "On Saturn's Rings". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 15. London: NASA Astrophysics Data System, 1854, p. 31-34.

HUYGENS, C. *Systema Saturnium*. [s.l.]: [s.n.], 1659.

-----. "De Saturni Luna Observatio Nova". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1925, v. XV, p. 172-177.

-----. "Systema Saturnium". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1925, v. XV, p. 209-353.

-----. "Kosmotheoros, sive de Terris Coelestibus, earumque arnatu, Conjecturae". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1944, v. XXI, p. 677-821.

-----. "Brevis Assertio Systematis Saturnii". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1925, v. XV, p. 439-467.

-----. "Correspondance N^o 224 – Christiaan Huygens à John Wallis – [13 juin 1655]". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1888, v. I, p. 331-333.

-----. "Correspondance N^o 261 – Christiaan Huygens à [A. Colvius] – 8 février 1656". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1888, v. I, p. 380.

-----. "Correspondance N^o 267 – Christiaan Huygens à J. Hevelius – 8 mars 1656". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1888, v. I, p. 387-388.

-----. "Correspondance N^o 272 – Christiaan Huygens à J. Wallis – [15 mars 1656]". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1888, v. I, p. 392.

KATER, H. "On the Division in the Exterior Ring of Saturn". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 1. London: NASA Astrophysics Data System, 1830, p. 177-179.

KING, H.C. *The history of the Telescope*. London: Sky Publishing Corporation, 1955.

LAPLACE, P.S. de. "Mémoire sur la Théorie de l'Anneau de Saturne". In: *Oeuvres Complètes de Laplace*. Paris: Gauthier-Villars et Fils, 1878-1912, v. XI, p.275-292.

- "Exposition du Système du Monde". In: *Oeuvres Complètes de Laplace*. Paris: Gauthier-Villars et Fils, 1878-1912, v. VI, p.46-49; 290-292.
- "Mécanique Céleste". In: *Oeuvres Complètes de Laplace*, v. I-V. Paris: Gauthier-Villars et Fils, 1878-1912.
- "Théorie des Attractions des Sphéroïdes et de la Figure des Planètes". In: *Oeuvres Complètes de Laplace*. Paris: Gauthier-Villars et Fils, 1878-1912, v. X, p. 341-419.
- *Celestial Mechanics* (tradução de N. Bowditch). New York: Chelsea, 1966, v.II, p. 492-518; 970-990.

LASSELL, W. "Discovery of a New Satellite of Saturn". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 8. London: NASA Astrophysics Data System, 1848, p. 195.

----- e DAWES, W.R. "Discovery of Inner Ring of Saturn, December 3 1850". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 11. London: NASA Astrophysics Data System, 1850, p. 20-27.

----- "Observations of the Planet Saturn with 20-foot Equatoreal". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 12. London: NASA Astrophysics Data System, 1851, p. 9-11.

----- "On the Transparency of the Faint Ring of Saturn". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 13. London: NASA Astrophysics Data System, 1852, p. 11-12.

----- "Remarks of the Transparency of the Faint Ring of Saturn". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 13. London: NASA Astrophysics Data System, 1852, p. 12-14.

----- "On the Physical Aspect of Saturn". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 13. London: NASA Astrophysics Data System, 1852, p. 15-16.

----- "Peculiarity in the Form of the Shadow of the Ball of Saturn, upon the Ring". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 13. London: NASA Astrophysics Data System, 1852, p. 34-36.

LOCHER, J.G. *Disquisitiones mathematicae, de controversiis et novitatibus astronomicis*. Ingolstadt: [s.n.], 1614.

MAUPERTUIS, P.L.M. de. *Discours sur les differentes figures des astres*. Paris: [s.n.], 1732.

MAXWELL, J.C. "On the Stability of the Motion of Saturn's Rings". In: *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, (W.D. Niven, ed.), v. I, p. 287-378. New York: Dover, 1965.

MOURÃO, R.R.F. *Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1987.

NASA (National Aeronautics and Space Administration). *Saturn Educator Guide*. California: Jet Propulsion Laboratory, 1999.

OXFORD UNIVERSITY. *A Dictionary of Scientists*. New York: Oxford University Press, 1999.

PANNEKOEK, A. *A History of Astronomy*. New York: Dover, 1989.

PEIRCE, B. "On the Constitution of Saturn's Ring". In: *The Astronomical Journal* 2. Cambridge: NASA Astrophysics Data System, 1851, p. 17-19.

-----, "On the Adams Prize-Problem for 1856". In: *The Astronomical Journal* 4. Cambridge: NASA Astrophysics Data System, 1855, p. 110-112.

POLLACK, J.B. "The Rings of Saturn". In: *Space Science Review* 18, 1975, p. 3-93.

PROCTOR, R.A. *Saturn and its System*. London: Longman, Green, Longman, Roberts, & Green, 1865.

RICCIOLI, G. *Almagestum novum*. Bologna: [s.n.], 1651.

ROBERVAL, G.P. de. "Correspondance N^o 324 – G.P. de Roberval à Christiaan Huygens – 4 août 1656". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1888, v. I, p. 474-476.

- RUE, W. de la. "Note on the Appearance of Saturn and his Rings". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 12. London: NASA Astrophysics Data System, 1851, p. 14.
- SECCHI, A. "On Egeria and Saturn's Ring". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 11. London: NASA Astrophysics Data System, 1851, p. 53.
- "On the Rings of Saturn". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 16. London: NASA Astrophysics Data System, 1856, p. 50-56.
- SLUSE, R.F. de. "Correspondance N^o 1257 – R.F. de Sluse à [Christiaan Huygens] – 2 octobre 1664". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1890, v. V, p. 117-118.
- STRUVE, O. "Sur les Dimensions des Anneaux de Saturne". In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 13. London: NASA Astrophysics Data System, 1853, p. 22-24.
- VAN HELDEN, A. "Christopher Wren's De Corpore Saturni". In: *Notes and Records of the Royal Society of London* 23, 1968, p. 213-229.
- "Eustachio Divini versus Christiaan Huygens: a Reappraisal". In: *Physis* 12, 1970, p.36-50.
- "The Accademia del Cimento and Saturn's Ring". In: *Physis* 15, 1973, p.237-259.
- "Saturn and his Anses". In: *Journal for the History of Astronomy* 5, 1974, p.105-121.
- "'Annulo Cingitur': The Solution of the Problem of Saturn". In: *Journal for the History of Astronomy* 5, 1974, p.155-174.
- "A Note on Christiaan Huygens's De Saturni Luna Observatio Nova". In: *Janus* 62, 1975, p. 13-15.
- "Saturn Through the Telescope: a Brief Historical Survey". In: *Saturn* (T. Gehrels e M.S. Matthews, eds.). Tucson: University of Arizona Press, 1984, p. 23-43.

- , "Rings in Astronomy and Cosmology, 1600-1900". In: *Planetary Rings* (R.J. Greenberg e A. Brahic, eds.). Tucson: University of Arizona Press, 1984, p. 12-22.
- VOLPICELLI, P. "Sur la Nature Probable des Anneaux de Saturne et sur le Bolide Signalé le 31 août aux Environs de Rome". In: *Comptes Rendus des Séances de L'Académie des Sciences* 75. Paris: [s.n.], 1872, p. 954-955.
- WALLIS, J. "Correspondance N^o 227 – J. Wallis à Christiaan Huygens – 1 juillet 1655". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1888, v. I, p. 396-397.
- WALLIS, J. "Correspondance N^o 277 – J. Wallis à Christiaan Huygens – 1 avril 1656". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1888, v. I, p. 335-338.
- WINTER, S.M.G. "Os Sistemas de Anéis Planetários". In: *Boletim da SAB*. São Paulo: Sociedade Astronômica Brasileira, 1994.
- WREN, C. "Correspondance N^o 934 – Chr. Wren à P. Neile – [1658]". In: *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens*. La Haye: Martinus Nijhoff, 1890, v. III, p. 419-424.

REFERÊNCIAS VIRTUAIS

- Historical Background of Saturn's Rings

<http://www.solarviews.com/eng/saturnbg.htm>

- Christiaan Huygens – Systema Saturnium

<http://www.sil.si.edu/DigitalCollections/HST/Huygens/huygens.htm>

- The Galileo Project

<http://es.rice.edu/ES/humsoc/Galileo/>

- Robert A. Hatch – Department of History (Univ. of Florida)

<http://www.clas.ufl.edu/users/rhatch/>

- NASA Astrophysics Data System (ADS)

http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html

- Gallica- Bibliothèque Nationale de France (BNF)

<http://gallica.bnf.fr/>

- The MacTutor History of Mathematics Archive

<http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/history/index.html>

REFERÊNCIAS DAS FIGURAS

Figura 1 – *Disquisitiones mathematicae, de controversiis et novitatibus astronomicis* (1614), p. 89

Figura 2 – *Le Opere di Galileo Galilei* (1890-1909), v. XII, p. 276.

Figura 3 – a) *Le Opere di Galileo Galilei* (1890-1909), v. X, p. 276.

b) The Galileo Project:

<http://es.rice.edu/ES/humsoc/Galileo/Things/saturn.html>

Figura 4 – *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens* (1925), v. XV, p. 281.

Figura 5 – *Opera Omnia* (1658), v. IV, p. 183.

Figura 6 – a) *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygen* (1925), v. XV, p. 279.

b) *Journal for the History of Astronomy* 5 (1974), p.115.

Figura 7 – *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens* (1925), v. XV, p. 275; 277; e 282.

Figura 8 – *Journal for the History of Astronomy* 5 (1974), p.114.

Figura 9 – Pierscienie Saturna: <http://www.wiw.pl/astronomia/a-c2-pierscienie.asp>

Figura 10 – *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens* (1925), v. XV, p. 279.

Figura 11 – Pierscienie Saturna: <http://www.wiw.pl/astronomia/a-c2-pierscienie.asp>

Figura 12 – *Journal for the History of Astronomy* 5 (1974), p.157.

Figura 13 – The Galileo Project:

http://es.rice.edu/ES/humsoc/Galileo/Images/Astro/Saturn/hevelius_phases-1.gif

Figura 14 – *Saturn* (1984), p. 29.

Figura 15 – *Systema Saturnium* (1659), p. 16.

Figura 16 – *Journal for the History of Astronomy* 5 (1974), p.160.

Figura 17 – *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens* (1890), v. III p. 424-425.

Figura 18 – Pierscienie Saturna: <http://www.wiw.pl/astrologia/a-c3-pierscienie.asp>

Figura 19 – a) *Systema Saturnium* (1659), p. 11.

b) *Systema Saturnium* (1659), p. 18.

Figura 20 – *Systema Saturnium* (1659), p. 32-33.

Figura 21 – *Systema Saturnium* (1659), p. 47.

Figura 22 – a) *Systema Saturnium* (1659), p. 49.

b) *Systema Saturnium* (1659), p. 50.

Figura 23 – *Systema Saturnium* (1659), p. 55.

Figura 24 – *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens* (1925), v. XV, p. 425.

Figura 25 – *Maxwell on Saturn's Rings* (1983), p. 33.

Figura 26 – *Physis* 12 (1970), p.49.

Figura 27 – *Physis* 15 (1973), p.257.

Figura 28 – *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens* (1890), v. III p. 350-352; e 354.

Figura 29 – *Journal for the History of Astronomy* 5 (1974), p.167.

Figura 30 – *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens* (1890), v. V, p. 118-119.

Figura 31 – *The Planet Saturn: a History of Observation, Theory and Discovery* (1980), p. 96-97 (Plate II – Fig.2).

Figura 32 – *The Scientific Papers of John Couch Adams* (1896), v. I, p. 284.

Figura 33 – Historical Background of Saturn's Rings:

<http://www.solarviews.com/eng/saturnbg.htm>

Figura 34 – *The Planet Saturn: a History of Observation, Theory and Discovery* (1980), p. 144-145 (Plate III - Fig. 1).

Figura 35 – *The Planet Saturn: a History of Observation, Theory and Discovery* (1980), p. 144-145 (Plate III - Fig. 2).

Figura 36 – The Encke Minima and Encke Division in Saturn's A-Ring:

<http://home.fiam.net/ericj/encke.html>

Figura 37 – The Encke Minima and Encke Division in Saturn's A-Ring:

<http://home.fiam.net/ericj/encke.html>

Figura 38 – The Encke Minima and Encke Division in Saturn's A-Ring:

<http://home.fiam.net/ericj/encke.html>

Figura 39 – *Saturn* (1984), p. 35.

Figura 40 – *The Planet Saturn: a History of Observation, Theory and Discovery* (1980), p. 144-145 (Plate V - Fig. 1).

Figura 41 – The Encke Minima and Encke Division in Saturn's A-Ring:

<http://home.fiam.net/ericj/encke.html>

Figura 42 – The Encke Minima and Encke Division in Saturn's A-Ring:

<http://home.fiam.net/ericj/encke.html>

Figura 43 – *Maxwell on Saturn's Rings* (1983), p. 69.

Figura 44 – *Maxwell on Saturn's Rings* (1983), p. 157.

Figura A1 – *Mitologia – Deuses e Heróis*

Figura A2 – *Mitologia – Deuses e Heróis*

Figura A3 – Nine Planets: <http://www.iki.rssi.ru/nineplanets/saturn.html>

Figura C1 – The Galileo Project:

http://es.rice.edu/ES/humsoc/Galileo/Images/Txts/Misc/lipperhey_patent_app.gif

Figura C2 – The Galileo Project:

<http://es.rice.edu/ES/humsoc/Galileo/Things/telescope.html>

Figura C3 – *The history of the Telescope* (1955), p. 36.

Figura C4 – The Galileo Project:

http://es.rice.edu/ES/humsoc/Galileo/Images/Astro/Instruments/g_telescope.gif

Figura D1 – *Le Opere di Galileo Galilei* (1890-1909), v. X, p. 410.

Figura D2 – *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens* (1890), v. III p. 424-425.

Figura E1 – *Maxwell on Saturn's Rings* (1983), p. 157.