

# Nascimentos da Física

José Maria Filardo Bassalo

Departamento de Física da UFPA

66075-900, Belém, Pará

e-mail: <http://www.amazon.com.br/bassalo>

Trabalho recebido em 6 de maio de 1996

Com este trabalho, iniciamos uma nova saga. Desta vez, a exemplo do escritor uruguaio Eduardo Hughes Galeano (1940- ) em sua fantástica trilogia **Memória do Fogo (Nascimentos, 1986; As Caras e as Máscaras, 1985; O Século do Vento, 1988** - Editora Nova Fronteira), apresentaremos em forma de verbetes, e na ordem cronológica (seguindo a divisão clássica das idades históricas), os principais fatos (nascimentos) referentes aos conceitos físicos, os quais serão apresentados por temas separados. Para isso, basicamente, usaremos os dados que coletamos nos quatro tomos de nossas Crônicas da Física (EUFPA: 1987, 1990, 1992, 1994) e nas referências aí indicadas.

## Abstract

With this work, we begin a new saga. This time as the Uruguayan writer Eduardo Hughes Galeano (1940- ) made in his fantastic trilogy **Memória do Fogo (Nascimentos, 1986; As Caras e as Máscaras, 1985; O Século do vento, 1988** - Editora Nova Fronteira), we present in entries, and in chronological order (following the classical division of historical ages), the main events (*births*) concerned to the physical concepts, which will be presented in separated subjects. For that, basically, we use the data that we gather in our four books **Crônicas da Física** (EIJFPA: 1987, 1990, 1992, 1994) and in the references therein.

## IDADE MODERNA: ASTRONOMIA

### Primeiro Quartel do Século XVIII (1701-1725)

#### Primeiro Quartel do Século XVIII (1701-1725)

Em 1703, o físico e matemático inglês Sir Isaac Newton (1642-1727) foi nomeado Presidente da *Royal Society of London*, ficando nesse cargo até sua morte no dia 20 de março de 1727.

Em 1705, o físico inglês Edmund Halley (1656-1742) publicou o livro *A Synopsis of the Astronomy of Comets* (*Uma Sinopse da Astronomia dos Cometas*) no qual há uma análise da órbita de 24 cometas aparecidos entre 1337 e 1698. Assim, ao aplicar a teoria newtoniana da gravitação universal a esses cometas, concluiu que se tratava do mesmo cometa com uma órbita em torno do Sol, com grande excentricidade e com um período de aproximadamente 76 anos. Desse modo, previu sua volta para dezembro de 1758. Infelizmente Halley (que morreu em 1742) não viu sua previsão confirmar-se, quando o então cometa de Halley apareceu nos céus

no Natal de 1758, atingindo o periélio no dia 13 de março de 1759.

Em 1712, Halley publicou o primeiro mapa estelar da era telescópica, que havia sido confeccionado pelo astrônomo inglês John Flamsteed (1646-1719). Para essa publicação, Halley contou com auxílio financeiro do Príncipe Jorge da Dinamarca. Essa publicação foi objeto de briga entre Halley e Flamsteed, já que este se opusera à mesma por considerá-la incompleta. Em vista disso, queimou 300 das 400 cópias que haviam sido publicadas por Halley.

Em 1713, apareceu a segunda edição (ainda em latim) do *Principia* de Newton.

Em 1714, Halley observou o Grande Aglomerado Hércules.

Em 1715, Halley apresentou à *Royal Society of London* uma comunicação na qual sugeriu que a medição da salinidade dos oceanos poderia oferecer dados sobre a idade da Terra, já que a salinidade (devido à evaporação) aumentava com o tempo.

Em 1716, Halley idealizou um método para observar

o trânsito de Vênus pelo disco do Sol, com o objetivo de determinar a paralaxe do Sol e, de posse desta, determinar a distância Terra-Sol.

Em 1718, Halley observou que as estrelas Aldebaran, Arcturus e Sírius haviam nitidamente mudado de posição no céu das estrelas fixas dos gregos. Com essa observação, Halley deitou por terra um mito secular: a imutabilidade estelar.

Em 1718, o astrônomo francês Jacques Cassini (Cassini II) (1677-1756) mediu o arco do meridiano terrestre entre Dunkerque e Perpignan, e concluiu que esse resultado indicava que a Terra era alongada na direção dos pólos, em concordância com o modelo planetário cartesiano. Nessa sua medição, Cassini II encontrou que a Terra era um elipsóide alongado no sentido dos pólos, com o eixo de 6.579.368 toesas e o diâmetro equatorial de 6.510.796 toesas. Além do mais, encontrou que o primeiro grau a norte de Paris media não 57.060 toesas (como encontrara o astrônomo francês Jean Picard (1620-1682), em 1671), mas apenas 56.975 toesas. (Toesa era uma medida de comprimento que media 6 pés ou 1,98 m.) Essas medidas foram registradas no livro intitulado *De la Grandeur et la Figure de la Terre (Sobre o Tamanho e a Forma da Terra)*, publicado nesse mesmo ano de 1718. Ainda nesse livro, Cassini II defendeu o modelo planetário cartesiano. (Registre-se que Cassini II era um ardente oponente da teoria da gravitação de Newton.)

Em 1720, Halley assumiu o posto de Astrônomo Real do Observatório de Greenwich. Ainda nesse ano, apresentou uma explicação para a escuridão do céu noturno, afirmando que a mesma decorria do número finito de estrelas fixas.

Em 1725, houve uma publicação póstuma do famoso catálogo de estrelas (*Historia Coelestis Britannica*), de Flamsteed, no qual foram listadas 3.000 estrelas, sendo que cada estrela foi localizada com uma precisão seis vezes maior do que já havia sido apresentada pelo astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601). Esse catálogo foi tão preciso que, até hoje, algumas estrelas como, por exemplo, Cygni 61, ainda permanecem com os mesmos dados encontrado naquele catálogo. Em vista desse fantástico trabalho realizado por Flamsteed, o meridiano que passa por Greenwich, local onde se situava o observatório em que trabalhava, foi considerado a origem de um sistema internacional de meridianos, isto é, sua longitude foi considerada como tendo o valor de  $0^{\circ} 0' 0''$ .

Em dezembro de 1725, o astrônomo inglês James

Bradley (1693-1762) e seu amigo, o astrônomo amador e político inglês Samuel Molyneux (1689-1728) fizeram uma série de observações telescópicas no sentido de determinar a paralaxe da estrela Gamma Draconis. Inicialmente, o telescópio foi montado na chaminé da casa de Molyneux e, posteriormente, usaram o Observatório de Kew. No entanto, a tentativa de medir essa paralaxe malogrou porque encontravam sempre o mesmo valor de  $42''$ , qualquer que fosse a estrela observada. (**Paralaxe** é o movimento ou deslocamento aparente de objetos próximos vistos contra o pano de fundo de objetos mais distantes; ela é produzida pelo movimento ou deslocamento do observador.)

### Segundo Quartel do Século XVIII (1726-1750)

Em 1728, Bradley descobriu a **aberração da luz**, isto é, o desvio da posição de uma estrela, observada por um telescópio, desvio esse decorrente da composição entre a velocidade finita da luz, que leva um certo tempo para caminhar da objetiva até a ocular do telescópio, e a velocidade da Terra que, nesse mesmo intervalo de tempo, caminha em sua rotação em torno do Sol.

Em 1729, apareceu a edição inglesa do *Principia* de Newton.

Em 1730, Cassini II mediu o arco de paralelo compreendido entre Saint-Malo e Estrasburgo, perpendicular ao meridiano de Paris.

Em 1732, o matemático francês Pierre Louis Maupertuis (1698-1759) divulgou a obra de Newton, perante a Academia Francesa de Ciências, por intermédio da memória *Sur les Lois de l'Attraction (Sobre as Leis da Atração)*. Nessa memória, discutiu a polêmica entre os sistemas planetários, o turbilhão apresentado, em 1644, pelo filósofo e matemático francês René du Perron Descartes (1596-1650) e o da gravitação universal apresentado por Newton, em 1687, já que o primeiro afirmava que a Terra era alongada nos pólos, enquanto o segundo afirmava o contrário, isto é, que era achatada.

Em 1733, Maupertuis apresentou à Academia Francesa de Ciências a memória intitulada *Sur la Figure de la Terre (Sobre a Forma da Terra)* na qual voltou a discutir os sistemas planetários cartesiano e newtoniano.

Em 1733, o óptico inglês John Dollond (1706-1761) observou que uma combinação apropriada de lentes de vidro eliminaria os efeitos da dispersão da luz. (Observação análoga já havia sido feita pelo matemático e astrônomo escocês David Gregory (1661-1708).) Em

vista dessa observação, Dollond construiu um telescópio com esse tipo de lentes, o qual recebeu do médico inglês John Bevis (Bevans) (1693-1771) o nome de **telescópio acromático**.

Em 1733, Bradley mediu o diâmetro de Júpiter.

Em 1734, o filósofo sueco Emanuel Swedenborg (1688-1772) em seu *Principia Rerum Naturalium* (*Princípio das Coisas Naturais*) apresentou a hipótese de que o sistema solar se formou devido à rotação de uma grande nebulosa, e que, por efeito da gravitação, sua massa principal se concentrou como o Sol, e a condensação das outras partes da nebulosa inicial deu origem aos planetas e seus satélites.

Em 1734, o matemático suíço Daniel Bernoulli (1700-1782) escreveu um trabalho no qual tratou o problema da atração gravitacional entre dois corpos, por métodos analíticos, trabalho esse que mereceu um prêmio da Academia Francesa de Ciências.

Em 1734-1735, Maupertuis discutiu novamente os sistemas planetários de Descartes e de Newton, na memória *Sur la Figure des Corps Célestes* (*Sobre a Forma dos Corpos Celestes*), apresentada à Academia Francesa de Ciências. Basicamente, nessa memória, Maupertuis apresentou uma nova técnica de extração de dados geodésicos referentes aos pólos e ao equador.

Em 1735, o geógrafo francês Charles Marie de La Condamine (1701-1744) confirmou a previsão feita por Newton de que a Terra era achatada nos pólos e alongada no equador, ao medir o grau de arco do meridiano que passa em Quito, no Equador. Para essa medição, contou com a colaboração do físico francês Pierre Bouguer (1698-1758).

Em 1736, Maupertuis realizou uma expedição à Lapônia, situada no extremo norte da Suécia, para medir o grau de arco do meridiano entre Tornea, no golfo de Botnia, e Kittis, situado no mesmo meridiano, além do círculo polar. Com essa medição, Maupertuis também confirmou a previsão feita por Newton de que o globo terrestre apresentava-se achatado nos pólos e alongado no equador. Nessa expedição, Maupertuis teve a ajuda do matemático e astrônomo francês Alexis Claude Clairaut (1713-1765).

Em 1736, o texto de Newton intitulado *Tractatus de Methodis Serierum et Fluxionum* (*Tratado dos Métodos das Séries e Fluxões*) foi traduzido para o inglês e editado por John Colson.

Em 31 de outubro de 1736, Bevis observou, juntamente com Halley, o trânsito de Mercúrio pelo disco do Sol.

Em 1737, Maupertuis publicou o resultado de sua expedição à Lapônia, no trabalho intitulado *Relation du voyage au cercle polaire* (*Relação da viagem ao círculo polar*).

Em agosto de 1738, o astrônomo e matemático servo-croata, o Jesuíta Rudjer (Roger, Ruggero) Josip (Giuseppe) Bosković (Boscovich) (1711-1787) apresentou ao Colégio Romano a dissertação intitulada *De auro boreali* (*Sobre a aurora boreal*), na qual explicou as técnicas de observação usadas para a investigação das auroras boreais.

Em 1738, o escritor francês François Marie Arouet (Voltaire) (1694-1778) publicou o livro *Elementos da Filosofia de Isaac Newton*, no qual aparece a história da queda da maçã na fazenda de Woolsthorpe, na Inglaterra, e que teria inspirado Newton a enunciar a sua famosa **Lei da Gravitação Universal**. Esse fato foi contado a Voltaire pela sobrinha de Newton, Catherine Barton, mulher de John Conduitt.

Em 1739, o astrônomo e geodésico francês Nicolas Louis de Lacaille (1713-1762) participou do grupo de astrônomos que mediu o meridiano francês.

Em 1739, Boscovich apresentou ao Colégio Romano o trabalho *Dissertatio de Telluris Figura* (*Dissertação sobre a Forma da Terra*) no qual propôs um novo método matemático para a determinação da figura (forma) da Terra. Esse trabalho de Boscovich contribuiu para resolver a polêmica que existia entre os partidários da teoria turbilhonar de Descartes (1644) e o da gravitação universal de Newton (1687), já que o primeiro afirmava que a Terra era alongada nos pólos, enquanto o segundo afirmava o contrário, isto é, que era achatada.

Em 1739, Bouguer publicou o livro *La Figure de la Terra* (*A Forma da Terra*) no qual registrou suas experiências sobre a determinação do meridiano terrestre, principalmente, a experiência que realizou com La Condamine, em 1735, da qual resultou a medida do arco do meridiano que passa em Quito, no Equador.

Em 1740, Bouguer usou o pêndulo para medir a gravidade em diferentes altitudes. Assim, comparando a gravidade em diversos pontos do Altiplano Andino (região compreendida entre o sudeste do Peru e oeste da Bolívia), ele foi capaz de estimar a massa da Terra.

Em 1740, Cassini II publicou os livros *Eléments d'Astronomie* (*Elementos de Astronomia*) e *Tables astronomiques du Soleil, de la Lune, des planètes, des étoiles fixes et de satellites de Jupiter et de Saturne* (*Tabelas astronômicas do Sol, da Lua, dos planetas, das*

*estrelas fixas, e dos satélites de Júpiter e de Saturno).*

Em 28 de outubro de 1740, Bevis observou, juntamente com o óptico inglês James Short (1710-1768) - o primeiro fabricante de espelhos (parabólicos e elípticos) usados em telescópios refletorres -, a ocultação de Júpiter e de seus satélites pela Lua. Para compreender essa observação, inventou a *Satellite's Slide Rule* (*Regra de Cálculo de Satélites*).

Em 1740, Bevis publicou o trabalho intitulado *Rules to Find the Aberration of Fixed Stars* (*Regras para Encontrar a Aberração de Estrelas Fixas*), no qual demonstrou que o fenômeno da aberração da luz estelar ocorre tanto na ascensão quanto na declinação das estrelas.

Em 1742, Bradley foi eleito o terceiro Astrônomo Real.

Em 1742, Boscovich apresentou ao Colégio Romano a dissertação *Desquisitio in universam astronomiam* na qual refutou os turbilhões cartesianos - que os jesuítas franceses defendiam com muito entusiasmo - e acolheu a teoria newtoniana da atração gravitacional.

Em 1743, Clairaut escreveu o livro *Théorie de la Figure da Terre* (*Teoria da Forma da Terra*) no qual estudou os efeitos da gravidade e da força centrífuga sobre a Terra em rotação. É também de Clairaut a idéia de se usar o tempo de oscilação de um pêndulo para medir o raio terrestre.

Em 1744, Bevis fez observação de um novo cometa aparecido nos céus.

Em 1744, o astrônomo suíço Jean Philippe Loys de Chéseaux (1718-1751), em seu *Traité de la Comète* (*Tratado do Cometa*) afirmou que a escuridão da noite era consequência da absorção da luz das estrelas através de um fluido que se distribuía no espaço interestelar.

Em 1744, o matemático e físico suíço Leonard Euler (1707-1783) publicou o livro intitulado *Theoria Motuum Planetarum et Cometarum* (*Teoria dos Movimentos dos Planetas e dos Cometas*) no qual estudou o movimento de **n** massas puntuais, que se atraem mutuamente por intermédio de uma força gravitacional. Nesse estudo, demonstrou que tal movimento poderia ser formulado em termos de um sistema de equações diferenciais referido a um sistema cartesiano ortogonal.

Em 1746, o cientista escocês Cadwallader Colden (1688-1776) publicou o livro intitulado *An Explication of the First Causes of Action in Matter* (*Uma Explicação das Principais Causas da Ação à Distância na Matéria*), no qual explicou a gravidade como sendo devida à pressão de partículas do éter, que julgava pre-

encher o Universo.

Em 1747, Boscovich apresentou ao Colégio Romano o trabalho *Dissertatio de maris aestu*, no qual traçou o quadro dos "erros" cometidos por todos os predecessores de Newton que tentaram de diversas maneiras explicar o fenômeno das marés. Referiu-se, principalmente, à conhecida tese de Galileu, que atribuía as marés ao movimento de rotação da Terra ao redor de seu eixo, e a ela objetou que o próprio princípio galileano da relatividade do movimento demonstrava a sua inconsistência. Assim, evocando um dos maiores "erros" teóricos de Galileu, Boscovich começou a colocar em discussão o próprio princípio de inércia, pedra de toque da teoria galileana e pós-galileana do movimento, e expôs a explicação "correta" das marés, baseada na gravitação recíproca Terra-Lua.

Em 1748, após 19 anos de meticulosas observações sobre as posições das estrelas, Bradley anunciou que o eixo da Terra sofria pequenas modificações periódicas, denominadas por ele de **nutações**. Nesse mesmo ano, recebeu a Medalha Copley da *Royal Society of London*.

Em 1749, o físico e matemático francês Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783) publicou o artigo intitulado *Recherches sur la précession des équinoxes et sur la nutation de la terre* (*Pesquisas sobre a precessão dos equinócios e sobre a nutação da terra*). O problema da precessão dos equinócios havia sido tratado por Clairaut. No entanto, o método empregado por d'Alembert para lidar com esse problema, foi semelhante ao de Clairaut, mas ele empregou mais termos na integração da equação de movimento e, por isso, encontrou uma solução mais de acordo com as observações desse fenômeno.

Em 1750, o astrônomo e geólogo inglês, o Reverendo John Michell (1724-1793) construiu uma balança de torção para auxiliá-lo em suas experiências com a gravitação newtoniana.

Em 1750, o filósofo inglês Thomas Wright (1711-1786), em seu livro *New Hypothesis of the Universe* (*Novas Hipóteses do Universo*), anunciou uma provável forma de nossa Galáxia - a **Via Láctea** -, afirmando que suas estrelas se distribuía em uma forma achatada como uma "pedra de mó", de espessura finita, mas estendendo-se a grandes distâncias na direção de seu plano. Wright, conhecido como descobridor de galáxias, calculou em cerca de 170 milhões o número de mundos habitados em nossa Galáxia.

Em 1750, o naturalista francês Georges Louis Leclerc, Conde de Buffon (1707-1788), apresentou a

hipótese de que os planetas foram formados pela colisão de um cometa com o Sol (conhecido como o **cometa de Buffon**), tirando pedaços da matéria solar e condensando-os para formá-los, isto é, os planetas foram formados dos **planetesimais**, os pedaços do Sol.

Em 1750, Lacaille iniciou uma expedição ao Cabo da Boa Esperança, com o objetivo de observar as estrelas do hemisfério sul.

Em 1750, Boscovich mediu o arco de meridiano entre Roma e Rimini para testar sua teoria sobre a forma da Terra, exposta no *Telluris*.

### Terceiro Quartel do Século XVIII (1751-1775)

Em 1751, Euler começou a estudar o problema da precessão dos equinócios e da nutação terrestre, isto é, uma oscilação periódica irregular dos pólos da Terra. Essa oscilação causa uma irregularidade do círculo precessional traçado pelos pólos celestes, provocando uma variação nas distâncias e direções do Sol e da Lua em relação ao nosso planeta. Ainda nesse mesmo ano de 1751, Euler começou a estudar o movimento da Lua, no artigo intitulado *Theoria motus lunae exhibens omnes ejus inaequalitates*, no qual elaborou um método original para uma solução aproximada do problema de três corpos.

Em 1752, no trabalho escrito pelo médico, arqueólogo e teólogo inglês William Stukeley (1687-1765), amigo de Newton, há a confirmação da história da queda da maçã na fazenda de Woolsthorpe, na Inglaterra, como inspiradora da idéia da gravitação universal newtoniana.

Em 1753, Euler publicou o trabalho intitulado *Theoria motus lunae exhibens omnes ejus inaequalitates*, no qual elaborou um método original para uma solução aproximada do problema de três corpos.

Em 1754, Lacaille encerrou a expedição ao Cabo da Boa Esperança (iniciada em 1750), realizada com o objetivo de observar as estrelas do céu meridional. Durante esse período, determinou a posição de aproximadamente 10.000 estrelas, bem como denominou 14 constelações novas localizadas no hemisfério sul. Ainda nesse período, foi o primeiro a medir um arco de meridiano na África do Sul.

Em 1754, d'Alembert publicou dois volumes da obra intitulada *Recherches sur différents points importants du système du monde* (*Pesquisas sobre diferentes pontos importantes do sistema do mundo*) no quais, fundamentalmente, ele estudou o movimento da Lua.

Em 1755, o filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804) apresentou, em um opúsculo intitulado *História Geral da Natureza e da Teoria Celeste*, uma idéia análoga à de Swedenborg sobre a origem do sistema solar, isto é, que o mesmo se formou devido à rotação de uma grande nebulosa; e que, por efeito da gravitação, sua massa principal se concentrou no centro dando origem ao Sol, e a condensação das outras partes da nebulosa inicial deu origem aos planetas e seus satélites. Ainda nesse trabalho, Kant apresentou a idéia de que as nebulosas eram constituídas de estrelas, formando verdadeiras **ilhas-universo** de estrelas, bem como a hipótese correta de que a fricção das marés poderia desacelerar a rotação da Terra.

Em 1756, d'Alembert publicou o Volume III da obra intitulada *Recherches sur différents points importants du système du monde* (*Pesquisas sobre diferentes pontos importantes do sistema do mundo*) no qual incluiu um novo conjunto de tabelas lunares.

Por volta de 1757, auxiliado pelo astrônomo francês Joseph Jérôme le Lalande (1732-1807), e pela matemática, também francesa, Hortense Lepaute, Clairaut refez os cálculos que Halley havia feito para o cometa que se tornaria, mais tarde, o famoso **cometa de Halley**, considerando as perturbações de Júpiter e Saturno sobre o mesmo. Nessa ocasião previu seu periélio para 4 de abril de 1759. Errou por 19 dias! Ainda nesse mesmo ano de 1757, Clairaut obteve o primeiro valor razoável para a massa do planeta Vênus ( $\frac{2}{3}$  da massa da Terra) e um novo valor para a massa da Lua ( $\frac{1}{67}$  da massa da Terra).

Em 1757, Lacaille preparou um catálogo das 400 mais brilhantes estrelas. Aliás, foi esse astrônomo quem descobriu que a Alfa de Centauro era um estrela dupla.

Em 1758, o astrônomo francês Charles Messier (1730-1817) foi o primeiro em França, a detectar a volta do cometa de Halley. Messier tornou-se célebre por haver descoberto 21 cometas, razão pela qual o Rei Luís XV de França (1710-1774), o chamava afetuosamente de "pequeno caçador de cometas".

Em 1758, Boscovich publicou o livro *Theoria Philosophiae Naturalis* (*Teoria da Filosofia Natural*) no qual propôs uma grande lei unificada das forças que incluía todos os efeitos físicos conhecidos. Essa lei, a grandes distâncias, coincidia com a lei newtoniana da gravitação universal. Contudo, em pequenas distâncias, ela era alternadamente atrativa e repulsiva. Nesse livro, além de representar graficamente essa **Lei das Forças**, Boscovich expressou-a através de uma série

convergente de termos matemáticos em potências do inverso da distância; cada um menor que o precedente, porém, quanto mais essa soma se estende, melhor se torna sua aproximação à verdadeira lei das forças.

Em 1759, Bevis fez observação de um cometa aparecido nos céus, o famoso cometa de Halley.

Em 16 de maio de 1761, o cientista russo Mikhail Vasilyevich Lomonosov (1711-1765) observou o trânsito do planeta Vênus pelo disco do Sol, descobrindo com essa observação a atmosfera desse planeta.

Em 1761, Bevis observou o trânsito do planeta Vênus pelo disco do Sol, com o objetivo de determinar a distância Terra-Sol, conhecida como **unidade astronômica - UA**. Segundo essa unidade, a escala do sistema solar era a seguinte: Mercúrio - 0,387 UA; Vênus - 0,723 UA; Terra - 1 UA; Marte - 1,524 UA; Júpiter - 5,203 UA; Saturno - 9,538 UA.

Em 1761, o astrônomo inglês Nevil Maskelyne (1732-1811) observou na Ilha de Santa Helena o trânsito do planeta Vênus pelo disco do Sol.

Em 1761, Lacaille fez uma nova estimativa da distância Terra-Lua.

Em 1763, foi publicado (**post-mortem**) o famoso *Coelum Australe Stelliferum* (*Catálogo de Estrelas do Céu Meridional*), que havia sido preparado por Lacaille, decorrente das observações que fizera no Cabo da Boa Esperança, no período de 1750-1754.

Em 1763, Maskelyne publicou o *The British Mariner's Guide* (*Guia do Marinheiro Britânico*), no qual apresentou o método de cálculo de longitudes, por intermédio de observações sobre as posições da Lua.

Em 1763, o astrônomo e matemático ítalo-francês Joseph-Louis, Conde de Lagrange (1736-1813) preparou o trabalho intitulado *Recherches sur la libration de la lune dans lesquelles on tâche de résoudre la question proposée par l'Académie royale de sciences pour le prix de l'année 1764* (*Pesquisas sobre a libração da lua nas quais procuramos resolver a questão proposta pela Academia real de ciências para o prêmio do ano de 1764*). Nesse trabalho, Lagrange apresentou uma satisfatória explicação da igualdade do movimento médio de translação e rotação da lua.

Em 1764, o planeta Netuno passou próximo de Vênus e, em vista disso, foi considerado como seu satélite.

Em 1766, Maskelyne voltou a observar o trânsito do planeta Vênus pelo disco do Sol. Nesse mesmo ano, publicou o primeiro volume do *Nautical Almanac* (*Almanaque Náutico*).

Em 1766, o astrônomo prussiano John Daniel Titius (1729-1796) examinando a escala do sistema solar, tomando 10 como base da mesma, demonstrou que as distâncias dos planetas ao Sol poderiam ser escritas na seqüência: 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96 acrescida do termo constante 4. Assim, teríamos: Mercúrio - 4 (3,87); Vênus - 7 (7,23); Terra - 10 (10); Marte - 16 (15,24); o 28 não era ocupado por nenhum planeta; Júpiter - 52 (52,03); Saturno - 100 (95,38). (O número entre parênteses indica o valor observado, multiplicado por 10.)

Em 1769, Bevis voltou a observar o trânsito do planeta Vênus pelo disco do Sol, com o objetivo de melhorar ainda mais o valor da UA, ocasião em que encontrou o valor de 152.855.000 km.

Em 1769, Boscovich observou o trânsito de Vênus, na Califórnia, Estados Unidos.

Entre 1770 e 1772, Euler desenvolveu um trabalho no qual apresentou sua segunda teoria do movimento lunar. Esse trabalho foi publicado em 1772, com o título *Theoria motuum lunae, nova methodo pertractata*.

Em 1771, Messier registrou 45 objetos "nebulosos" (do latim **nebula**, que significa **nuvem**) no céu, que dificultavam suas observações cometárias. Essas **nebulosas** ficaram conhecidas como M1, M2, M3 etc., e que, mais tarde, foi observado que se tratavam de um grande aglomerado de estrelas. Por exemplo, M1 é a nebulosa de Caranguejo, M13 é o Grande Aglomerado Hércules, M31 é a galáxia espiralada de Andrômeda, e M45 constitui as Plêiades.

Em 1772, o astrônomo alemão Johann Elert Bode (1747-1826) ficou impressionado com a seqüência apresentada por Titius e passou a divulgá-la entre seus pares. Por essa razão, a mesma ficou conhecida por muito tempo como **lei de Bode**. Hoje, ela é conhecida como **lei de Titius-Bode**.

Em 1772, Lagrange estudou o problema de três corpos, no artigo intitulado *Essai sur le Problème de Trois Corps* (*Ensaio sobre o Problema de Três Corpos*), para o qual apresentou três soluções. Numa dessas soluções demonstrou ser possível ajustar três corpos em movimento, uma vez que suas órbitas são similares a elipses, descritas todas ao mesmo tempo e tendo o centro de massa deles como um foco comum. Numa outra solução assumiu que os três corpos situavam-se nos vértices de um triângulo equilátero, que gira em torno do centro de massa desses corpos (posições  $L_4$  e  $L_5$ ). Por fim, na terceira solução considerou que os três corpos são projetados em movimento a partir de suas posições sobre

uma linha reta e que, por condições iniciais apropriadas, os três corpos permanecem fixos sobre a reta enquanto esta gira em um plano em torno do centro de massa desses corpos (posições  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ ). (Enquanto estas três últimas posições são instáveis, as duas primeiras são estáveis e situam-se, respectivamente, cerca de  $60^\circ$  adiante do planeta e cerca de  $60^\circ$  por detrás do mesmo, e na sua órbita). Contudo, para Lagrange esses três casos não tinham realidade física.

Em 1775, o astrônomo francês César François Cassini de Thury (Cassini III) (1714-1784) publicou o livro *Description Géométrique de la Terre (Descrição Geométrica da Terra)*.

Em 1775, Maskelyne estimou a densidade da Terra ao calcular o desvio de um fio de prumo de chumbo colocado ao lado da Montanha Schiehallion, em North Perthshire, na Escócia. O valor por ele encontrado foi de 4,5 vezes a densidade da água.

#### Quarto Quartel do Século XVIII (1776-1800)

Em 1779, Lagrange trabalhou com uma equação do tipo laplaciano ( $\Delta V = 0$ ) em seus estudos sobre a gravitação.

Na noite do dia 13 de março de 1781, usando um telescópio refletor de 17,5 cm, o astrônomo alemão Sir Friedrich Wilhelm (William) Herschel (1783-1822) observou um estranho objeto na constelação de Gêmeos. Seguindo seus deslocamentos nas noites seguintes, Herschel pensou tratar-se de um cometa e comunicou tal fato à Sociedade Filosófica de Bath. Por sua vez, seu amigo William Watson Jr. informou essa descoberta à *Royal Society of London*. Observações posteriores desse objeto celeste feitas por Herschel permitiram-lhe calcular sua órbita. Porém, sendo essa quase circular, ao invés de alongada, como ocorre com os cometas, Herschel concluiu tratar-se de um planeta. Inicialmente, tentou batizá-lo com o nome de **Georgium Sidus (Estrela de Jorge)**, em homenagem a Jorge III (1738-1820), então Rei da Inglaterra. Contudo, por sugestão de le Lalande, esse planeta passou a ser conhecido como **Herschel**; por fim, Bode, ainda em 1781, sugeriu que se chamasse **Urano** (na Mitologia grega, pai de Saturno). (Observe-se que, na Inglaterra, por mais de 50 anos, a *Nautical Almanac* registrou Urano com o nome de Georgium. Na França, ocasionalmente, Urano eram também conhecido com o nome de Herschel, até metade do século XIX. A partir daí, o nome Urano universalizou-se.

Em 1781, Herschel foi eleito para a *Royal Society of London*, recebendo então a Medalha Copley.

Em 1782, Herschel, juntamente com sua irmã, a astrônoma Caroline Lucretia Herschel (1750-1848) (e auxiliado, também, por seu irmão Alexander), preparou um catálogo de estrelas. Nessas suas observações, procurou medir paralaxes estelares e, para isso, usou o método proposto por Galileu que consistia em observar pares de estrelas que estivessem intimamente próximas, conhecidas como **estrelas binárias**. Como, nessa época, pensava-se que a proximidade de tais pares decorria do tangenciamento da linha de visada das mesmas, esperava então Herschel medir um desvio paralático na medida em que essas estrelas binárias se afastassem; porém, suas observações não indicaram tal desvio.

Em 1782, o astrônomo Anders J. Lexell demonstrou que Urano era um planeta.

Em 1782, o matemático e astrônomo francês Pierre Simon, Marquês de Laplace (1749-1827) estudou a atração gravitacional dos corpos esferoidais, ocasião em que introduziu a **função potencial V**, bem como a equação que a mesma deve satisfazer - a famosa **Equação de Laplace**:  $\Delta V = 0$  (na linguagem atual). Ao resolvê-la, demonstrou que a força gravitacional ( $\vec{F}$ ) poderia ser obtida pela expressão:  $\vec{F} = -\nabla V$ . Observe-se que Laplace não utilizou a notação  $\Delta$  e  $\nabla$  para representar, respectivamente, os operadores **laplaciano** e **gradiente** e sim, a notação em derivadas parciais (em notação atual):  $\frac{\partial^2 V}{\partial x_i^2}$  e  $\frac{\partial V}{\partial x_i}$ .

Em 1782, na *Histoire de l'Académie Royale des Sciences et de Belles-Lettres de Berlin (1780)* foi publicado o trabalho de Lagrange intitulado *Théorie de la libration de la lune et des autres phénomènes qui dépendent de la figure non sphérique de cette planète (Teoria da libração da lua e de outros fenômenos que dependem da forma não esférica desse planeta)*.

Entre 1782 e 1785, o matemático francês Adrien Marie Legendre (1752-1833) chegou aos seus célebres **polinômios de Legendre**, em seu estudo sobre a atração gravitacional entre esferóides.

Em 1783, Caroline Herschel descobriu três nebulosas, das quais uma delas acompanhava a Andrômeda (M31).

Em 23 de novembro de 1783, na *Royal Society of London*, Michell apresentou pela primeira vez a idéia do que hoje se denomina **buraco-negro**, isto é, um astro no Universo que não pode emitir luz porque seu tamanho não lhe permite que a luz escape de sua su-

perfície.

Em 1784, Messier já havia registrado 103 nebulosas.

Em 1784, o astrônomo inglês John Goodricke (1764-1786) descobriu na constelação de Cepheu que a estrela **delta de Cepheu** apresentava um brilho que variava periodicamente. A partir daí, as estrelas que apresentavam brilhos periódicos (de dias para umas e de meses para outras) passaram a ser conhecidas como **variáveis cefeidas**.

Em 1784-1785, Herschel apresentou um modelo de nossa Galáxia **Via-Láctea**, segundo o qual a mesma apresenta um aspecto lenticular (na forma de uma “pedra de amolar”) e tendo o Sol como seu centro, chegando, inclusive, a estimar seu diâmetro: 2.000 parsecs. (1 **parsec** é igual a distância de uma estrela cuja paralaxe é de 1”; **paralaxe estelar** é o ângulo visto da estrela que subentende a distância Terra-Sol; 1 parsec = 3,26 anos-luz ou, aproximadamente,  $3,08 \times 10^{18}$  cm.)

Em 1785, Herschel apresentou sua teoria da origem do Universo (cosmogonia). Assim, originalmente, as estrelas se encontravam espalhadas no espaço infinito, porém, com o passar do tempo, a força de atração entre elas gradativamente as organizava em aglomerados.

Em 1785, Lagrange publicou os seguintes trabalhos: *Sur les variations séculaires des mouvements moyens des planètes* (Sobre as variações seculares dos movimentos médios dos planetas) e *Théorie des variations périodiques des mouvements des planètes* (Teoria das variações periódicas dos movimentos dos planetas).

Em 1786, o físico e químico inglês Lord Henry Cavendish (1731-1810) usou a teoria da gravitação newtoniana para calcular o desvio sofrido por um raio luminoso ao passar perto do Sol. No entanto, ele não publicou esse cálculo.

Em 1786, o astrônomo francês Pierre Méchain (1744-1804) registrou mais 6 nebulosas, além das 103 que haviam sido registradas por Messier. Nesse mesmo ano, observou a presença de um novo cometa no céu.

Em 1786, Laplace e Lagrange estudaram a excentricidade total das órbitas planetárias do sistema solar, ocasião em que demonstraram que ela era constante, ou seja, se a excentricidade de um planeta aumenta a de um outro deve diminuir. Com isso, provaram que o sistema solar não foi perturbado após a sua formação e que sua estabilidade está assegurada **ad aeternus**. Desse modo, concluíram que as perturbações planetárias são apenas periódicas, e não seculares, como supunham a princípio. Por exemplo, para Lagrange, a perturbação periódica na órbita planetária ocorria ora numa direção,

ora em direção contrária, de modo que não há modificação permanente ao longo do tempo. Por outro lado, a perturbação secular era acumulativa e apenas numa direção, de modo que ao fim da trajetória planetária, a órbita deveria romper-se.

Entre 1786 e 1797, Caroline Herschel descobriu oito cometas.

Em 11 de janeiro de 1787, usando um telescópio de 20 pés de distância focal, Herschel descobriu os satélites Titânia e Oberon do planeta Urano. (Os nomes desses satélites foram dados por seu filho Sir John Frederick William Herschel (1792-1871), tirados da comédia do poeta inglês William Shakespeare (1564-1616), intitulada *Midsummer Night's Dream*, escrita entre 1595 e 1596.)

Em 1787, Laplace calculou a aceleração da Lua, demonstrando então que a mesma era um pouco maior que os valores então conhecidos, fato esse devido à diminuição da excentricidade da órbita da Terra. Nesse mesmo ano, Laplace apresentou sua famosa equação (na notação atual:  $\Delta V = 0$ ) em coordenadas cartesianas.

Em 1788, Lagrange publicou seu famoso livro *Mécanique Analytique* (*Mecânica Analítica*) no qual, basicamente, aplicou métodos analíticos aos problemas mecânicos e, com isso, tentou estudar alguns problemas do sistema planetário, principalmente o problema de três corpos (por exemplo, os conjuntos Sol-Terra-Lua e Júpiter e seus quatro satélites), cujos primeiros estudos já fizera em 1772.

Em 1789, Laplace observou que sua equação não permanecia mais válida, para tratar problemas relacionados com a atração gravitacional entre uma massa puntual que se encontra no interior de um corpo e esse mesmo corpo.

Em 1789, Herschel concluiu, em Slough, Buckinghamshire, perto de Windsor, a construção de um gigantesco telescópio de 12 m de comprimento e 1,20 m de abertura, financiado pelo Rei Jorge III. Com esse telescópio, descobriu os satélites Encélado e Mimas do planeta Júpiter.

Em 13 de novembro de 1790, Herschel fez uma descoberta que abalou sua concepção sobre as nebulosas. Nesse dia, observou uma nebulosa a qual foi forçado a interpretá-la como sendo constituída de uma estrela central envolvida por uma nuvem de “fluido luminoso”. Para adaptar essa observação às suas idéias, Herschel foi levado a concluir que a estrela central foi formada pela condensação desse “fluido” sob a ação das forças gravitacionais newtonianas.



Em 1791, o astrônomo germano-húngaro Franz Xaver, Barão de Zach (1754-1832) completou a construção de um observatório astronômico em Seeberg, próximo de Gotha. Nesse observatório, Zach começou uma busca sistemática de novos cometas e planetas existentes entre Marte e Saturno, tomando a **lei de Titius-Bode** (1766-1772) como referência.

Por volta de 1793, Herschel mediu o brilho comparativo das estrelas duplas e concluiu que elas não estavam próximas uma da outra apenas por aparência e sim, que realmente giravam uma em torno da outra. Assim, usando a lei da gravitação newtoniana, Herschel chegou a calcular em 342 anos, o período de revolução da suposta estrela dupla Castor, depois de comparar suas observações com as de Bradley. (Note-se que se sabe hoje que Castor é um sistema sêxtuplo, composto de três sistemas binários espectroscópicos.)

Em 1795, astrônomos registraram a presença de Neptuno no espaço celeste, sem reconhecê-lo como tal.

Em 1795, Laplace publicou seu célebre artigo *Exposition du Systéme du Monde* (*Exposição do Sistema do Mundo*), no qual apresentou sua hipótese de que o sistema solar originou-se de uma nebulosa gigante e girante que, ao condensar-se sob a ação da força de gravitação, o seu núcleo central formou o Sol, e os planetas foram o resultado da contração de anéis que se desprendiam do núcleo central da nebulosa por efeito da força centrífuga. Nesse livro, Laplace menciona a hipótese (análoga à de Michell) de um astro no Universo não poder emitir luz, pois seu tamanho é tal que a luz não pode escapar de sua superfície. Para chegar a essa hipótese, Laplace usou a teoria da gravitação newtoniana.

Em 1797, Caroline Herschel revisou o catálogo de estrelas de Flamsteed, para o qual acrescentou mais 561 estrelas, além de apresentar um **Índex** e uma **Errata** para o mesmo.

Em 1797, o astrônomo alemão Heinrich Wilhelm Matthäus Olbers (1758-1840) começou a desenvolver um novo método para o cálculo das órbitas dos cometas.

Em 1798, Cavendish determinou a constante **G** da gravitação universal, realizando uma experiência com uma balança de torção, do tipo que Michell havia construído, em 1750. Nessa experiência, Cavendish suspendeu uma barra bem leve por intermédio de um fio preso ao centro da mesma. Em cada extremidade dessa barra havia uma bola de chumbo relativamente leve. Colocou então duas bolas grandes próximas das bolas leves e a força de gravitação entre essas bolas (grande e pequena)

provocou uma torção no fio de suspensão da barra. A partir dessa torção, Cavendish calculou a força gravitacional entre as bolas e, usando a gravitação newtoniana, calculou então a constante **G**, obtendo o valor de  $6,574 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$ . Com esse valor de **G** foi possível calcular a massa do Sol ( $\sim 2 \times 10^{30} \text{ kg}$ ) e, com a mesma, calcular a massa dos planetas e, conseqüentemente, a massa de seus satélites.

Em 1798, Laplace iniciou a publicação de sua célebre *Mécanique Céleste* (*Mecânica Celeste*), obra composta de cinco volumes e somente concluída em 1827, na qual apresentou seus trabalhos sobre a atração de corpos elipsoidais homogêneos, sobre as marés, sobre o achatamento da Terra, sobre a libração da Lua, sobre as anomalias dos movimentos de Júpiter e Saturno, sobre a forma e rotação dos anéis de Saturno e, também, sobre a precessão dos equinócios. Com relação a essa grande obra de Laplace, conta a história que o Imperador francês Napoleão Bonaparte (1769-1821) ao folheá-la, teria lhe perguntado se havia considerado Deus nessa sua obra. Laplace respondeu-lhe: -“Eu não tive necessidade dessa hipótese”. Conta ainda a história que quando Lagrange soube desse episódio, teria então comentado: -“Mas essa hipótese é maravilhosa. Ela explica tantas coisas”. Aliás, registre-se que no Volume I desse seu livro, Laplace demonstrou matematicamente a lei do inverso do quadrado da distância da gravitação newtoniana e que no Volume II dessa mesma obra, Laplace utilizou a expansão de uma função qualquer em termos dos célebres **polinômios de Legendre**, ao estudar a força de atração entre corpos esferoidais.

Em 1800, Herschel descobriu que a luz solar continha uma luz invisível aquém do vermelho, descobrindo, desse modo, a hoje conhecida **radiação infravermelha**.

Em 1800, o filósofo alemão Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831) escreveu o trabalho intitulado *Sobre as Órbitas dos Planetas*, no qual usou argumentos filosóficos para demonstrar que o sistema solar só poderia ter sete planetas.

### Primeiro Quartel do Século XIX (1801-1825)

Em 1 de janeiro de 1801, o astrônomo italiano Giuseppe Piazzi (1746-1826) descobriu Ceres, o primeiro **asteróide** (nome dado por Herschel, que significa **parecido com estrela**, porque era pequeno demais para ser observado como disco) na constelação do Touro, na região compreendida entre os planetas Marte e Júpiter.

(Observe-se que Herschel chegou a estimar seu diâmetro em 340 km (valor atual de 1.025 km). Observe-se, também, que o nome Ceres foi escolhido por Piazzi para homenagear a Deusa romana da fertilidade, patrona da Sicília.)

Em 1801, o matemático alemão John Karl Friedrich Gauss (1777-1855) determinou a órbita de Ceres, partindo das observações de Piazzi e por intermédio do método dos mínimos quadrados que ele próprio desenvolvera por volta de 1794.

No começo de 1802, Olbers (auxiliado por seu irmão Zach e usando o cálculo de Gauss) redescobriu Ceres em uma órbita que concordava muito bem com a prevista pela **lei de Titius-Bode**, pois esta indicava 2,8 UA, contra 2,77 UA encontrada por Olbers.

Em março de 1802, Olbers descobriu o segundo asteróide, o qual denominou de Pallas, e cuja órbita foi logo determinada por Gauss. Essa segunda descoberta levou Olbers a formular a hipótese de que os asteróides fossem remanescentes da explosão de um planeta de tamanho médio que orbitava entre Marte e Júpiter, local esse que ficou conhecido como **região dos asteróides**. Mais tarde, os asteróides passaram a ser denominados de **planetóides**, porque se pareciam com pequenos planetas.

Em 1802, o físico francês Jean Baptiste Biot (1774-1862) estudou a atração gravitacional exercida por corpos elipsoidais.

Em 1802, o químico e físico inglês William Hyde Wollaston (1766-1828) descobriu a existência de cerca de sete (7) linhas escuras no espectro solar. No entanto, pensando tratar-se apenas dos limites das cores do espectro solar, não aprofundou essa descoberta.

Em 1804, o astrônomo alemão Karl Ludwig Harding (1765-1834) descobriu o asteróide Juno, na região dos asteróides.

Por volta de 1805, ao fazer uma análise estatística das estrelas do céu que havia mapeado, Herschel constatou que o sistema solar se movia rumo à constelação de Hércules. Aliás, registre-se que Herschel acreditava que o Sol, a Lua e os planetas eram habitados. Acreditava, ainda, que as manchas solares eram fendas na atmosfera de nosso astro, através das quais se poderia ver a frieza de sua superfície.

Em 1806, Legendre publicou o trabalho intitulado *Nouvelles méthodes pour la détermination des orbites des comètes* (*Novos métodos para a determinação das órbitas dos cometas*) no qual utilizou, pela primeira vez, o método dos mínimos quadrados.

Em 1807, Harding descobriu o asteróide Vesta, na região dos asteróides.

Entre 1808 e 1823, Harding publicou o *Atlas Novus Coelestis* (*Novo Atlas Celeste*), no qual foram catalogadas mais de 120.000 estrelas.

Em 1809, Gauss publicou o livro intitulado *Theoria Motus Corporum Coelestium* (*Teoria sobre o Movimento dos Corpos Celestes*) no qual apresentou sua técnica para calcular órbitas de corpos celestes, baseado em seu método dos mínimos quadrados, que havia desenvolvido em 1795.

Em 1811, Olbers desenvolveu uma teoria segundo a qual a cauda dos cometas sempre se afasta do Sol quando passam perto dele, em virtude da pressão solar.

Em 1813, o matemático francês Siméon Denis Poisson (1781-1840) estudou os potenciais gravitacionais  $V$  no interior dos próprios corpos geradores desse potencial, obtendo a seguinte expressão:  $\Delta V = -4\pi\rho$ , onde  $\rho$  representa a densidade daqueles corpos.

Em 1813, Harding observou um novo cometa que apareceu no céu.

Por volta de 1814, Piazzi preparou um catálogo estelar no qual registrou 7.646 estrelas. Em virtude da observação dessas estrelas, Piazzi percebeu que muitas delas apresentavam um movimento relativo ao Sol, bem como descobriu o movimento extremamente rápido da estrela dupla Cisne 61.

Em 1814, o físico e óptico alemão Joseph von Fraunhofer (1787-1826) observou cerca de 576 riscas no espectro solar, conhecidas desde então como **riscas** ou **raias de Fraunhofer**. Para observá-las, usou o **espectroscópio**, um aparelho constituído de uma fenda estreita e alongada, uma lente colimadora, um prisma e uma luneta ocular. Dentre essas linhas, estava a famosa linha D do Sódio, conforme mais tarde foi identificada.

Em 1815, Olbers observou um novo cometa que apareceu no céu, determinando sua órbita por intermédio de seu método que desenvolvera em 1797. Esse cometa ficou conhecido como **cometa de Olbers**.

Em 1815, o físico e astrônomo norueguês Christopher Hansteen (1784-1873) fundou o primeiro observatório astronômico na Noruega. Nesse observatório, ele desenvolveu um método simples de observação de estrelas no plano vertical da estrela polar.

Em 1818, o astrônomo alemão Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) elaborou um catálogo estelar com 50.000 estrelas até a grandeza 9, trabalhando no Observatório de Königsberg.

Em 1818, o astrônomo francês Jean Louis Pons (1761-1831) descobriu um novo cometa no céu. Esse astrônomo descobriu cerca de 37 cometas, razão pela qual ficou conhecido como “caça-cometas”.

Em 1819, o astrônomo alemão Johann Franz Encke (1791-1865) demonstrou que os cometas aparecidos em 1786 (observado por Méchain), 1795, 1805 e 1818, eram o mesmo, e que seu período decrescia de 2,5 horas em cada revolução. Tal cometa passou então a ser conhecido como **cometa Encke**.

Em 1823, Sir John Herschel começou a estudar a absorção da luz solar por substâncias coloridas.

Em 1823, Olbers publicou uma monografia intitulada *Sobre a Transparência do Espaço*, no qual apresentou seu famoso paradoxo: -“Se as estrelas estão uniformemente distribuídas no espaço e se este é homogêneo e infinito, por que o céu é negro?” Para chegar a esse paradoxo, Olbers usou um raciocínio análogo a este: “Suponhamos que o espaço é uma cebola com capas de espessuras constantes e tendo a Terra como centro. Sendo o espaço homogêneo e infinito, o número de estrelas aumenta com o quadrado da variação do raio de cada capa, porém, como a intensidade da luz diminui na mesma proporção, os dois efeitos se compensam”. Portanto, concluiu Olbers, “seríamos igualmente iluminados por todos os pontos da superfície de cada capa e, como o espaço é infinito, deveríamos receber também uma quantidade infinita de luz”. O próprio Olbers apresentou uma solução para esse paradoxo, dizendo que a poeira interestelar oblitera a maior parte da luz vinda das estrelas.

Em 1824, Harding observou um novo cometa que apareceu no céu.

Em 1824, Bessel estudou a anomalia da órbita do planeta Urano e concluiu que a mesma era devida à atração gravitacional que Júpiter e Saturno exerciam sobre aquele planeta. Foi durante esse estudo que Bessel descobriu as famosas **funções de Bessel**.

Em 1824, o astrônomo germano-russo Friedrich Georg Wilhelm von Struve (1793-1864), então Diretor do Observatório da Universidade de Dorpat (desde 1817), ao receber um telescópio refrator de 24 cm (construído por Fraunhofer), e considerado o melhor telescópio até então), começou suas observações sobre as estrelas duplas.

Em 1825, Encke foi escolhido Diretor do Observatório da Universidade de Berlim, ocasião em que planejou a construção de um novo Observatório.

Em 1825, o astrônomo alemão Heinrich Samuel Sch-

wabe (1789-1875) tentou encontrar um novo planeta entre Mercúrio e o Sol. Não o encontrou, no então, em virtude de suas observações a procura desse planeta, desenhou as manchas solares.

## Segundo Quartel do Século XIX (1826-1850)

Em 1826, o astrônomo austríaco Wilhelm Freiherr von Biela (1782-1856) descobriu um novo cometa, havendo nessa ocasião calculado seu período como sendo de 6,6 anos.

A partir de 1830, o astrônomo polonês Karl Ludwig Hencke (1793-1866) começou a observação sistemática da região dos asteróides.

Em 1831, o astrônomo escocês Thomas Henderson (1798-1844), então Diretor do Observatório do Cabo da Boa Esperança, observou a estrela Alfa de Centauro, situada na região sul dos céus.

Em 1831, Schwabe foi o primeiro astrônomo a registrar a presença de uma **grande mancha vermelha** em Júpiter.

Em 1832, Harding e Olbers observaram o **cometa Biela**. Olbers havia previsto que sua cauda iria provocar um tumulto na Europa; no entanto, isso não aconteceu.

Em 1833, o matemático inglês George Green (1793-1841) aplicou o hoje famoso **teorema de Green** (demonstrado em 1828):

$$\int_v U \Delta V dv + \int_s U \frac{\partial V}{\partial n} ds = \int_v V \Delta U dv + \int_s V \frac{\partial U}{\partial n} ds ,$$

onde U e V satisfazem à equação de Laplace ( $\Delta U(V) = 0$ ), e **n** é normal à fronteira da região e dirigida para o seu interior, para estudar o potencial gravitacional V de elipsóides com densidade variável. Nessa ocasião, demonstrou então que quando V é conhecido na fronteira de um corpo e não apresenta singularidades no interior do mesmo, então V satisfaz à equação de Laplace na região interna do mesmo.

Em 1833, o matemático inglês Robert Murphy (? -1843) introduziu a notação  $\Delta$  para representar o operador **laplaciano**  $\nabla^2$ .

Em 1833, Henderson mediu pela primeira vez a paralaxe da Alfa de Centauro.

Em 1833, o químico inglês William Hallows Miller (1801-1880) estudou a absorção da luz solar por vários gases, encontrando algumas linhas escuras. Em vista disso, concluiu que as **linhas de Fraunhofer** eram devidas a gases existentes no Sol.

Em 1835, Struve supervisionou a construção do Observatório Pulkovo, mandado construir pelo Tzar Nicolau I da Rússia (1769-1855).

Em 1835, foi concluído o novo Observatório da Universidade de Berlin, sob a supervisão de Encke, que era seu Diretor. Enquanto trabalhou nesse Observatório, Encke mediu a **paralaxe solar** (ângulo com que o semi-diâmetro da Terra é visto a partir do centro do Sol), usando as observações dos trânsitos de Vênus ocorridos em 1761 e 1769. Encke encontrou para essa paralaxe o valor de  $8,571''$ , que corresponde a uma distância Terra-Sol (Unidade Astronômica - UA) de  $\sim 152.480.000$  km. Foi também de Encke a observação de que existia uma pequena divisão na parte mais externa do anel de Saturno, a hoje conhecida **divisão de Encke**.

Em 1835, nas *Transactions of the Cambridge Philosophical Society* 53, foi publicado o trabalho de Green, feito em 1833, no qual estudou o potencial gravitacional de elipsóides com densidade variável.

Em 1837, o astrônomo alemão Friedrich Wilhelm August Argelander (1799-1875) fez um estudo detalhado do movimento do sistema solar no espaço sideral.

Em 1837, Henderson mediu a paralaxe equatorial horizontal da Lua, encontrando o valor de  $57' 01,8''$ .

Em 1837, Struve publicou o livro *Stellarum Duplicium Mensurae Micrometricae* (*Medidas Micrométricas das Estrelas Duplas*), no qual há o registro de 3.112 estrelas duplas, dentre as 120.000 estrelas que observou no Observatório da Universidade de Dorpat. Nesse mesmo ano, Struve começou a medir a paralaxe da Alfa de Lira, a estrela Vega, a quarta mais brilhante do céu.

Em 1838, Bessel fez a primeira medida da paralaxe estelar, a da estrela 61 Cygni, da constelação de Cisne, obtendo o valor de  $0,3136''$  (valor atual:  $0,30'' \pm 0,003''$ ), o que corresponde a uma distância de 10,4 anos-luz. A medida de distâncias estelares por intermédio da unidade **ano-luz** (distância percorrida pela luz (cuja velocidade é de  $300.000$  km/s, no vácuo) em um ano e cujo valor vale  $9,460530 \times 10^{17}$  cm), foi introduzida por esse astrônomo.

Em janeiro de 1839, Henderson voltou a medir a paralaxe da estrela Alfa de Centauro, encontrando então o valor de  $1''$ , que corresponde a uma distância de  $\sim 4$  anos-luz.

Em 1839, Struve tornou-se o Diretor do Observatório Pulkovo.

Em 1840, Struve anunciou a medida da paralaxe da estrela Vega (Alfa de Lira), com um valor de  $0,2613''$  correspondendo a uma distância de  $\sim 12,50$  anos-luz.

Em 1842, o astrônomo inglês John Couch Adams (1819-1892), então estudante do Observatório de Cambridge, começou a estudar, via Mecânica Celeste, a órbita do planeta Urano.

Em 1843, Schwabe anunciou que as manchas solares cresciam e diminuía num período de 10 anos (o valor médio atual é de 11,1 anos).

Em 1843, o astrônomo francês Hervé Faye (1814-1902) calculou a órbita e o período de um cometa aparecido nesse ano, depois denominado de **cometa Faye**.

Em 1844, Bessel descobriu que as estrelas Sírius e Prócion apresentavam pequenos movimentos, utilizando para essa descoberta, o **heliômetro**, aparelho que havia inventado para determinar a posição de planetas e de estrelas. Com relação a **Sírius A** (como passou a ser conhecida a estrela mais brilhante de nosso céu), concluiu, então, Bessel que a alteração de seu movimento só poderia decorrer devido ao efeito gravitacional de um outro corpo que lhe fosse vizinho, a **Sírius B**, como passou então a ser conhecida essa companheira de Sírius A. Como o movimento ondulatório de Sírius A era da ordem de 50 anos, Bessel formulou a hipótese de que a Sírius B girava em torno de Sírius A com o período exatamente igual àquele valor (o valor atual é de  $50,04 \pm 0,09$  anos).

Em 1844, Argelander iniciou o estudo sistemático das estrelas variáveis, introduzindo a partir daí, a nomenclatura moderna estelar com o uso de prefixos que começam com a letra **R** (de **rot**, vermelho, em alemão), já que a maioria das estrelas variáveis apresentava essa cor.

Em 1845, como decorrência de seus estudos teóricos, Adams encontrou uma anomalia na órbita de Urano e interpretou-a como sendo devido à perturbação de um outro planeta. Ao comunicar essa sua hipótese ao Astrônomo Real, o também astrônomo e matemático inglês Sir George Biddell Airy (1801-1892), este descartou-a por considerar que tal anomalia decorria da imperfeição da teoria newtoniana da gravitação.

Em 1845, o astrônomo irlandês William Parsons, Lord Rosse (1800-1867) detectou pela primeira vez na constelação **Cães de Caça**, uma nebulosa em forma de espiral e que a mesma era constituída de um agrupamento de estrelas. Nesse mesmo ano, concluiu a construção de um grande telescópio (180 cm), denominado de **Leviatã de Parsonstown**, construído com espelho de latão (liga de Cobre e Estanho) polido.

Em setembro de 1845, Adams solicitou ao astrônomo inglês James Challis (1803-1882) que pro-

curasse um novo planeta na constelação de Aquário. Contudo, Challis não obteve êxito nessa tarefa porque o Observatório de Cambridge, no qual trabalhava, não dispunha de um bom mapa celeste dessa região do espaço celeste.

Em 8 de dezembro de 1845, Hencke descobriu o asteroide Astraea.

Em 1846, nas *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* 23, Faye descreveu a construção do telescópio zênite.

Em 1846, foi observado que o cometa Biela partiu-se em dois.

Em 1846, o astrônomo francês Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811-1877) também encontrou, através de cálculos baseados na Mecânica Celeste, a anomalia na órbita de Netuno. Comunicou tal observação ao astrônomo alemão Johann Gottfried Galle (1812-1910), do Observatório da Universidade de Berlim, dizendo-lhe: -“Aponte seu telescópio para um ponto da eclíptica situado na constelação de Aquário, na longitude de  $326^\circ$ , e você encontrará, com erro de menos de  $1^\circ$ , um novo planeta, com aspecto semelhante ao de uma estrela de  $1^a$  grandeza, apresentando um disco perceptível”. Essa comunicação de Le Verrier a Galle, deveu-se ao fato de Galle haver-lhe enviado sua tese de doutorado.

Em 23 de setembro de 1846, Galle descobriu um novo planeta conforme indicava os cálculos de Le Verrier, apesar de seu chefe superior Encke, não acreditar nesses cálculos. Essa descoberta deveu-se ao fato de que Galle acabara de receber um novo mapa da constelação de Aquário, revisto e corrigido. Inicialmente, os astrônomos pensaram em dar o nome de **Le Verrier** a esse novo planeta. Galle, no entanto, sugeriu o nome de **Janus**. Porém, como esse planeta apresentava a cor verde (a cor dos mares”, Le Verrier sugeriu o nome de **Neptuno** - o “rei dos mares”. Observe-se que logo que Galle anunciou a descoberta desse planeta, Challis checou suas observações de agosto de 1845, e percebeu que, por duas vezes, havia topado com ele sem se dar conta que se tratava do planeta que Le Verrier lhe havia indicado para procurá-lo.

Em outubro de 1846, o astrônomo inglês William Lassell (1799-1880) descobriu o maior dos satélites de Neptuno, dando-lhe então o nome de **Tritão** que, na Mitologia Grega, era filho de Neptuno. Ele se move em uma órbita retrógrada a uma distância de 354.290 km de Neptuno e com um período orbital de 5,877 dias.

Em  $1^\circ$  de julho de 1847, Hencke descobriu o as-

teróide Hebe.

Em 1847, Sir John Herschel publicou *Results of Astronomical Observations, Made During the Years 1834-1838 at the Cape of Good Hope (Resultados de Observações Astronômicas Feitas Durante os Anos de 1834-1838, no Cabo de Boa Esperança)*, trabalho contendo catálogos e cartas de nebulosas e aglomerados de estrelas, resultante de suas observações do céu do hemisfério sul. Nesse trabalho, Sir John demonstrou, por exemplo, que as **Nuvens de Magalhães** e a **Grande Nebulosa**, na constelação de Orion (somente visíveis naquele hemisfério), eram constituídas de aglomerados de estrelas.

Em 1848, os astrônomos norte-americanos William Cranch Bond (1789-1859) e George Phillips Bond (1825-1865) (pai e filho) e, independentemente, Lassell descobriram **Hiperion**, o oitavo satélite de Saturno.

Em 1848, Sir John Herschel demonstrou que as explicações de Olbers e de Chéseaux sobre a escuridão da noite eram falsas, uma vez que o gás interestelar absorvendo as radiações luminosas, poderia, eventualmente, reemitir muito mais radiações do que as recebidas e, com o tempo, o Universo voltaria a brilhar e, portanto, o **paradoxo de Olbers-Chéseaux** permanecia.

Em 1848, Lord Rosse deu o nome de **nebulosa de Caranguejo** para o aglomerado M1, observado por Messier.

Em 1848, o físico inglês Sir Charles Wheatstone (1802-1875) inventou um relógio polar para determinar a posição do Sol, através do ângulo de polarização da luz solar.

Em 1848, o poeta e escritor norte-americano Edgar Allan Poe (1809-1849) em seu ensaio *Eureka*, propôs uma outra solução para o **paradoxo de Olbers-Chéseaux**: -“Se a sucessão das estrelas fosse infinita, então o fundo do céu nos apresentaria uma luminosidade uniforme, como a ostentada pela galáxia, pois que não haveria nenhum ponto, em todo aquele fundo, em que não existisse uma estrela. Por conseqüência, a única maneira, em tais condições, pela qual poderíamos compreender os vácuos que nossos telescópios encontram em inúmeras direções seria supor a distância deste fundo invisível tão imensa, que nenhum raio luminoso dele conseguiu chegar até nós”.

Em 1849, Sir John Herschel publicou seu famoso livro intitulado *Outlines of Astronomy (Esboços de Astronomia)*.

Em 1849, o astrônomo suíço Rudolf Wolf (1816-1893) apresentou a fórmula  $R = K(10g + f)$  para cal-

cular a atividade solar, onde **R** é o número relativo de manchas solares, **K** é uma constante que depende do aparelho e do método usado para observar essas manchas, **g** é o número de grupos de manchas e **f**, o número de manchas isoladas.

Em 1849, o astrônomo escocês-alemão Johann von Lamont (1805-1879) publicou o *Handbuch des Erdmagnetismus* (*Manual do Magnetismo Terrestre*), no qual registrou suas observações sobre o magnetismo terrestre, realizadas no **Royal Laboratory**, situado em Bogenhausen, próximo de Munique. Nessas observações, percebeu uma periodicidade de 10 anos, nas flutuações do campo magnético terrestre.

Por volta de 1850, Lord Rosse usou seu telescópio **Leviatã de Parsontown**, de 180 cm, e observou que cerca de 50 nebulosas em espiral eram constituídas de agrupamentos de estrelas

Em 1850, William Bond fez a primeira fotografia de uma estrela: a Vega.

Em 1850, o astrônomo inglês William Rutter Dawes (1799-1868), os Bond, e Lassell, independentemente, descobriram entre os dois anéis brilhantes de Saturno, um terceiro anel muito escuro, razão pela qual Lassell deu-lhe o nome de **anel de luto** (*crêpe ring*), hoje conhecido como **anel C**.

Em 1850, o astrônomo inglês Norman Robert Pogson (1829-1891) sugeriu uma maneira de estabelecer a **magnitude** da luminosidade de uma estrela através de uma escala logarítmica, ao observar que a média das estrelas de magnitude 1 era aproximadamente 100 vezes mais brilhante que a média das estrelas de magnitude 6. Assim, nessa sua escala, uma diferença unitária de magnitude correspondia a uma relação de intensidade 2,5. Por exemplo, nessa escala, a **estrela Barnard** possui uma magnitude de 9,5, Sírius de -1,58 e o Sol de -25,91.

### Terceiro Quartel do Século XIX (1851-1875)

Em 1851, William Bond fotografou a Lua, causando uma grande sensação em Londres.

Em 1851, Lassell descobriu mais dois satélites de Urano: **Ariel** e **Umbriel**, em Malta, para fugir do céu enevoado de Londres.

Em 1852, os dois fragmentos do **cometa Biela** foram observados, aparecendo como cometas gêmeos.

Em 1852, Wolf confirmou o ciclo de 10 anos das manchas solares, observado por Schwabe, analisando dados desde a Antiguidade até 1749. Ainda nesse

mesmo ano, Wolf e o astrônomo inglês Sir Edward Sabin (1788-1883) observaram a coincidência entre esse ciclo e o das auroras polares.

Por volta de 1852, Lamont determinou as órbitas dos satélites saturnianos **Enceladus** e **Tethys**, bem como os períodos dos satélites de Urano, **Ariel** e **Titan** e, também, a massa desse planeta.

Em 1853, o matemático irlandês Sir William Ronan Hamilton (1805-1865) introduziu a notação  $\nabla$  para representar o operador **gradiente**.

Em 1854, o físico inglês William Thomson, Lord Kelvin (1824-1907) sugeriu a hipótese da existência do Sódio nas atmosferas solar e estelar.

Em 1854, Airy calculou a constante **G** comparando o período de oscilação de um pêndulo na superfície da Terra e na base de uma mina de profundidade conhecida.

Em 1854, o fisiologista e físico alemão Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894) afirmou que a única fonte de energia solar era a sua força de gravitação e que a radiação solar seria produzida por uma lenta contração gravitacional.

Em 1857, o físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) demonstrou que os anéis de Saturno eram compostos de uma infinidade de partículas sólidas, formando um verdadeiro “cinto de planetóides”, confirmando a previsão que o astrônomo franco-italiano Giovanni Domenico Cassini I (1625-1712) fizera em 1675.

Em 1857, o astrônomo inglês Richard Christofer Carrington (1826-1875) publicou o *Catálogo de 3.735 Estrelas Circumpolares*.

Em 1858, o astrônomo inglês Warren de la Rue (1815-1889) inventou o dispositivo denominado de **fotoheliógrafo**, para poder fotografar o Sol.

Em 1858, o astrônomo italiano Giovanni Battista Donati (1826-1873), grande descobridor de cometas, descobriu mais um deles, bastante brilhante, conhecido desde então como **cometa Donati**.

Em 1859, Carrington percebeu a primeira labareda solar, pensando, contudo, tratar-se do choque de um meteoro com a superfície do Sol.

Em 12 de setembro de 1859, Le Verrier submeteu à Academia de Ciências de Paris o texto de uma carta que escreveu ao astrônomo Faye na qual dizia haver encontrado que o periélio (ponto mais próximo do Sol) de Mercúrio avançava 38" a mais por século do que o previsto pela teoria newtoniana da gravitação, e cuja razão para tal anomalia era ainda desconhecida. Em

vista disso, Le Verrier atribuiu-a à existência de um planeta entre o Sol e Mercúrio chamando-o **Vulcano**, a 30 milhões de distância do Sol e com um diâmetro de 1.600.000 km.

De 1859 a 1862, Argelander publicou o monumental *Bonner Durchmusterung* (*Mapa de Bonn*), obra em 4 volumes e que apresenta o registro de 324.188 estrelas, sendo este o último catálogo confeccionado sem a ajuda da fotografia.

Em 1860, Carrington mediu a rotação do Sol e percebeu que a mesma não era uniforme, já que um ponto situado no nível do equador solar levava 25 dias para dar uma volta, enquanto que um ponto situado no nível da latitude solar de  $45^\circ$ , levava 27 dias.

Em 1860, o astrônomo norte-americano Simon Newcomb (1835-1909) publicou um trabalho no qual criticou a hipótese proposta por Olbers, em 1802, de que os asteróides localizados na região compreendida entre Marte e Júpiter, resultaram da explosão de um planeta que nela orbitava.

Em 1860, ao observar um eclipse total do Sol com o heliógrafo, de la Rue demonstrou que as **proeminências** (jatos de chamas vermelhas) visíveis na orla do disco lunar eram provenientes do Sol e não da Lua.

Em 1861, no *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Wien* 43, o físico e mineralogista austríaco Wilhelm Karl Haidinger (1795-1871) apresentou uma teoria sobre a origem dos meteoros.

Em 1861, o astrônomo italiano Giovanni Virginio Schiaparelli (1835-1910) descobriu o asteróide (planetóide) **Herpéia**.

Em 1862, o astrônomo e físico sueco Anders Jonas Ångström (1814-1874) descobriu Hidrogênio (H) no Sol, depois de fazer observações espectroscópicas do mesmo.

Em 1862, o astrônomo e óptico norte-americano Alvan Graham Clark (1832-1897) descobriu acidentalmente a Sírius B, ao testar um telescópio refrator de 46,25 cm do Observatório de Dearborn.

Em 1862, Lamont percebeu que o aumento repentino da carga elétrica dentro da crosta terrestre estava associado com distúrbios ionosféricos.

Em 1862, o astrônomo inglês Sir William Huggins (1824-1910) e seu amigo William Allen Miller, após estudarem os espectros de 50 estrelas brilhantes, concluíram que elas tinham uma composição química similar à do Sol, contendo a maior parte dos elementos encontrados na Terra, tais como: H, Na, Mg, Ca, Fe, O, etc.

Em 1863, Argelander criou o *Astronomische Ges-*

*ellschaft*, a primeira grande organização internacional de astrônomos.

Em 1864, o astrônomo italiano Pietro Angelo Secchi (1818-1887) iniciou sua análise espectroscópica do céu.

Em 1864, Donati, que era um grande descobridor de cometas, foi o primeiro a estudar o espectro desses astros.

Em 1864, Huggins e Miller publicaram um trabalho sobre o espectro das nebulosas. Ao observarem que o espectro nebuloso era do tipo de raia brilhantes (espectro de emissão) em vez do de linhas escuras (espectro de absorção), concluíram que as grandes nebulosas (como a Órion, por exemplo), eram constituídas de um gás luminoso. Por outro lado, ao observarem o espectro da nebulosa Andrômeda, perceberam que era do tipo espectro-estelar, razão pela qual concluíram ser a mesma composta de estrelas.

Em 1865, nas *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* 60, Faye apresentou sua teoria sobre o Sol, segundo a qual o mesmo seria uma esfera gasosa com grandes movimentos convectivos.

Em 1865, nas *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* 61, Faye publicou um trabalho no qual descreveu as manchas solares como buracos na superfície do Sol.

Em 1866, Huggins foi o primeiro a estudar o espectro de uma **nova** e verificar que a mesma era envolta por Hidrogênio (H).

Em 1867, Ångström foi o primeiro a estudar o espectro da aurora boreal.

Em 1868, Huggins estudou o espectro dos cometas e observou que eles emitiam luz de gás carbono luminoso indicando que, de alguma forma, havia composto de Carbono (C) nos cometas. Nesse mesmo ano, Huggins fez uma grande descoberta para o desenvolvimento da Astrofísica, qual seja, a determinação da velocidade radial (componente do vetor velocidade ao longo da linha de visada) da estrela Sírius, usando uma combinação da Espectroscopia com o **efeito Doppler-Fizeau**. Assim, ao medir o espectro dessa estrela com um espectroscópio bastante aperfeiçoado, observou que havia um desvio para o vermelho em uma das linhas do Hidrogênio (H); desse modo pôde então calcular em  $47 \frac{km}{s}$  a velocidade de seu afastamento da Terra. (Para o cálculo dessa velocidade, deve ser usada a seguinte expressão:  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$ , onde  $\Delta\lambda$  é o deslocamento da linha considerada ( $\lambda_0$ ) do espectro,  $v$  é a velocidade radial, e  $c$  a velocidade da luz no vácuo, que vale:  $300.000 \frac{km}{s}$ .)

Em 1868, depois de catalogar cerca de 4.000 espectros de estrelas, desde 1864, Secchi distribuiu as estrelas em quatro classes: **brancas**, como a Sírius; **amarelas**, como o Sol; **vermelhas**, como a Betelgeuse; e **vermelhas fracas**.

Em 1868, o astrônomo inglês Sir Joseph Norman Lockyer (1836-1920) descobriu a presença de Hélio (He) na atmosfera do Sol, ao combinar estudos espectroscópicos e fotográficos das manchas e protuberâncias solares.

Em 1868, o astrônomo francês Pierre Jules César Janssen (1824-1907) descobriu, independentemente de Lockyer, a presença de Hélio na atmosfera do Sol, ao observar um eclipse solar total na Índia. Esse astrônomo foi um dos primeiros a usar regularmente a fotografia para estudar o Sol, através de uma nova técnica denominada **cronofotografia**.

Em 1869, Lockyer criou a Revista *Nature*.

Em 1870, o astrônomo inglês Richard Anthony Proctor (1837-1888) apresentou a idéia de que os planetas do sistema solar foram formados devido a uma colisão de uma estrela com o Sol.

Em 1872, quando a Terra atravessou a órbita do cometa **Biela**, foi observada uma chuva de meteoros brilhantes, conhecidos como **Andromédidos** ou **Biélidos**.

Em 1873, o astrônomo alemão Hermann Karl Vogel (1842-1907) foi um dos primeiros a introduzir o método fotográfico na espectroscopia celeste.

Em 1874, Vogel publicou o livro *Spectra der Planeten* (*Espectro dos Planetas*) no qual registrou suas observações sobre o espectro das estrelas.

Em 1875, Huggins aperfeiçoou o método fotográfico na espectroscopia celeste, usando a seguinte técnica: deixava em exposição uma chapa fotográfica à luz de um corpo celeste. Ora, sendo essa exposição um efeito cumulativo, o espectro resultante poderia ser visto a olho nu e, em consequência, as medidas do mesmo se tornavam extremamente simples.

#### Quarto Quartel do Século XIX (1876-1900)

Em 1876, o astrônomo norte-americano Asaph Hall (1829-1907) observou um ponto branco sobre a superfície de Saturno, o que lhe permitiu determinar o período de rotação do mesmo no valor de 10 horas e 45 minutos.

Em agosto de 1877, Asaph Hall descobriu os dois satélites de Marte, os quais denominou **Fobus** (**Medo**)

(com o diâmetro de 28 km) (dia 16) e **Deimos** (**Terror**) (com o diâmetro de 15 km) (dia 17) que, na Mitologia Grega, representam os filhos de Marte, Deus da Guerra.

Em 1877-1878, o matemático norte-americano George William Hill (1838-1914) estudou o movimento da Lua levando em consideração a ação de outros planetas do sistema solar. Nesse estudo, Hill chegou a hoje famosa **equação de Hill**:  $\frac{d^2x}{dt^2} + \theta(t)x = 0$ , onde  $\theta(t)$  é uma função par de período  $\pi$ . Para resolver essa equação, Hill usou pela primeira vez um sistema infinito de equações lineares e, com esse artifício (envolvendo determinantes infinitos), demonstrou que o movimento do perigeu da Lua era periódico. (É oportuno registrar que essas pesquisas de Hill sobre o movimento da Lua (publicadas no *American Journal of Mathematics* 1 (1878)), foram inicialmente ridicularizadas até que o matemático e filósofo francês Jules Henri Poincaré (1854-1912) demonstrou, em 1885, a convergência dessa solução.)

Em 1880, o astrônomo inglês Alexander William Bickerton (1842-1929) apresentou uma proposta análoga à de Proctor.

Em 24 de junho de 1881, o astrônomo norte-americano Henry Draper (1837-1882) e Huggins foram os primeiros a fotografar o espectro de um cometa (**cometa 1881 III**).

Em 1881, Schiaparelli descreveu a superfície de Marte assinalando a presença dos famosos **canais**.

Em 1881, o astrônomo norte-americano Samuel Pierpont Langley (1834-1906) aperfeiçoou o **bolômetro** para medir, com melhor precisão, o espectro solar.

Em 1882, Newcomb mediu a precessão da órbita de Mercúrio e encontrou um avanço de 43" a mais por século, em relação ao previsto pela teoria da gravitação newtoniana.

Em 1884, o astrônomo inglês Sir George Howard Darwin (1845-1912) - filho do famoso naturalista inglês Charles Robert Darwin (1809-1882) - apresentou sua famosa análise sobre as marés, baseada nos métodos desenvolvidos por Laplace e Lord Kelvin.

Em 1885, no *Bulletin de la Société Mathématique de France* 13, Poincaré demonstrou a convergência da solução periódica que Hill apresentou, em 1877, para a equação diferencial que representava o movimento da Lua, perturbado pelos demais planetas do sistema solar.

Em 1885, ao passar pela órbita do cometa **Biela**, a Terra recebeu uma nova chuva de meteoros **Andromédidos** ou **Biélidos**, ocasião em que os



astrônomos formularam a hipótese de que os meteoros eram compostos de fragmentos de cometas desintegrados.

Em 1886, o astrônomo inglês Sir David Gill (1843-1914) teve a idéia de fazer a fotografia do céu, para registro das estrelas. Gill já havia medido as paralaxes solar e estelar, por intermédio do **heliômetro**, que é um telescópio refrator com a objetiva dividida em duas partes, divisão essa que permitiu calcular a separação angular dos corpos celestes.

Entre 1886 e 1891, o astrônomo norte-americano James Edward Keeler (1857-1900) pertenceu ao "staff" do Lick Observatory, localizado no Monte Hamilton, California, ocasião em que conduziu um programa de observação espectroscópica das estrelas, e que lhe permitiu demonstrar que as nebulosas gasosas do tipo da Órion faziam parte de um sistema estelar.

Em 1887, Lockyer formulou a hipótese de que o sistema solar originou-se da condensação de material meteórico.

Em 1888, Keeler usou o telescópio refletor Crossley, de 36 polegadas (91 cm) numa tentativa frustrada de confirmar os famosos "canais" no solo marciano que haviam sido supostamente observado por Schiaparelli.

Em 1889, o astrônomo norte-americano George Ellery Hale (1868-1938), no Observatório Kenwood, em Chicago, construiu o **espectroheliógrafo** para fotografar o Sol, usando luz monocromática num intervalo grande de comprimentos de onda.

Em 1890, Lockyer esboçou uma primeira teoria sobre a evolução estelar, pela qual uma estrela ao se contrair, o calor aumenta e a mesma passa a emitir radiação até atingir um determinado tamanho, a partir daí ela começa a esfriar até se apagar.

Em 1890, Vogel analisou as velocidades estelares por intermédio do deslocamento das linhas espectroscópicas, e descobriu que em certas estrelas essas linhas primeiro se deslocavam em uma direção e depois na direção contrária. Estavam assim descobertas as **binárias espectroscópicas**.

Em 1892, Hale começou a organizar o Observatório Yerkes, da Universidade de Chicago.

Em 1892, o astrônomo norte-americano Edward Emerson Barnard (1857-1923) descobriu o quinto satélite de Júpiter, **Amaltea**, nome dado pelo astrônomo francês Nicolas Camille Flammarion (1842-1925). Este era um grande defensor da existência dos célebres **canais** em Marte, supostamente observados por Schiaparelli, assim como defendia, também, a exis-

tência de vida nesse e nos demais planetas do sistema solar.

Em 1893, os astrônomos, o holandês Jacobu Cornelius Kapteyn (1851-1922) e o irlandês W. H. S. Monck, independentemente, demonstraram a existência de estrelas vermelhas mais brilhantes e maiores do que o Sol.

Em 1895, Newcomb tentou explicar a anomalia observada na órbita de Mercúrio. Inicialmente, tentou a hipótese de que o excesso da precessão da órbita daquele planeta talvez fosse devido a uma matéria responsável por uma fraca "luz zodiacal" vista no plano da eclíptica do sistema solar. No entanto, como seus cálculos mostraram que a quantidade dessa matéria provocaria alterações no plano das órbitas do próprio Mercúrio e de Vênus, e que, no entanto, não eram observadas. Em vista disso, passou a admitir a hipótese de que a lei da gravitação newtoniana não variava com o inverso do quadrado da distância.

Em 1895, Hale fundou o *Astrophysical Journal* para divulgar trabalhos sobre espectroscopia astronômica.

Em 1895, Keeler obteve o espectro de Saturno e de seus anéis e, ao observar que a região interna dos anéis girava mais depressa que a região externa, demonstrou então que os mesmos eram constituídos por pequenas partículas, confirmando portanto as previsões de Cassini e de Maxwell.

Em 1898, Keeler fez observações fotográficas de 120.000 galáxias com o telescópio Crossley e, ao examiná-las, demonstrou que a forma de espiral é o tipo mais comum de galáxia no Universo até então observado.

Em 1898, o astrônomo norte-americano William Henry Pickering (1858-1938) descobriu **Febe**, o nono satélite de Saturno, com uma anomalia, qual seja, o de apresentar seu movimento orbital em sentido contrário aos demais satélites saturnianos.

Em 1898, o matemático inglês W. F. Sedgwick formulou a hipótese de que os planetas do sistema solar foram arrancados do Sol pela força das marés, estas provocadas pela passagem de uma estrela próximo ao Sol.

Em 1898, Darwin publicou o livro *The Tides and Kindred Phenomena in the Solar Systems* (*As Marés e Fenômenos Similares nos Sistemas Solares*) no qual defendeu a hipótese de que a passagem de uma estrela próximo do Sol provocou fortes marés no mesmo, e que, ao serem destacadas da superfície solar, formaram os planetas, inclusive a Lua. Ainda usando essa teoria das marés, principalmente a fricção entre elas, Dar-

win explicou os sistemas estelares, inclusive as estrelas múltiplas.

Em 1899, Darwin tornou-se Presidente da *Royal Astronomical Society*.

Em 1900, Huggins foi escolhido Presidente da *Royal Society of London* por seu trabalho no campo da espectroscopia celeste.

Em 1900, o astrônomo norte-americano Edward Charles Pickering (1846-1919) caracterizou as estrelas pelas letras do alfabeto (W, O, B, A, F, G, K, M, N, R), segundo suas temperaturas em graus Kelvin (K). Assim, W, O e B são as mais quentes (azuis: 30.000 K a 60.000 K); M, R e N são as mais frias (vermelhas:  $\leq 3.500$  K).